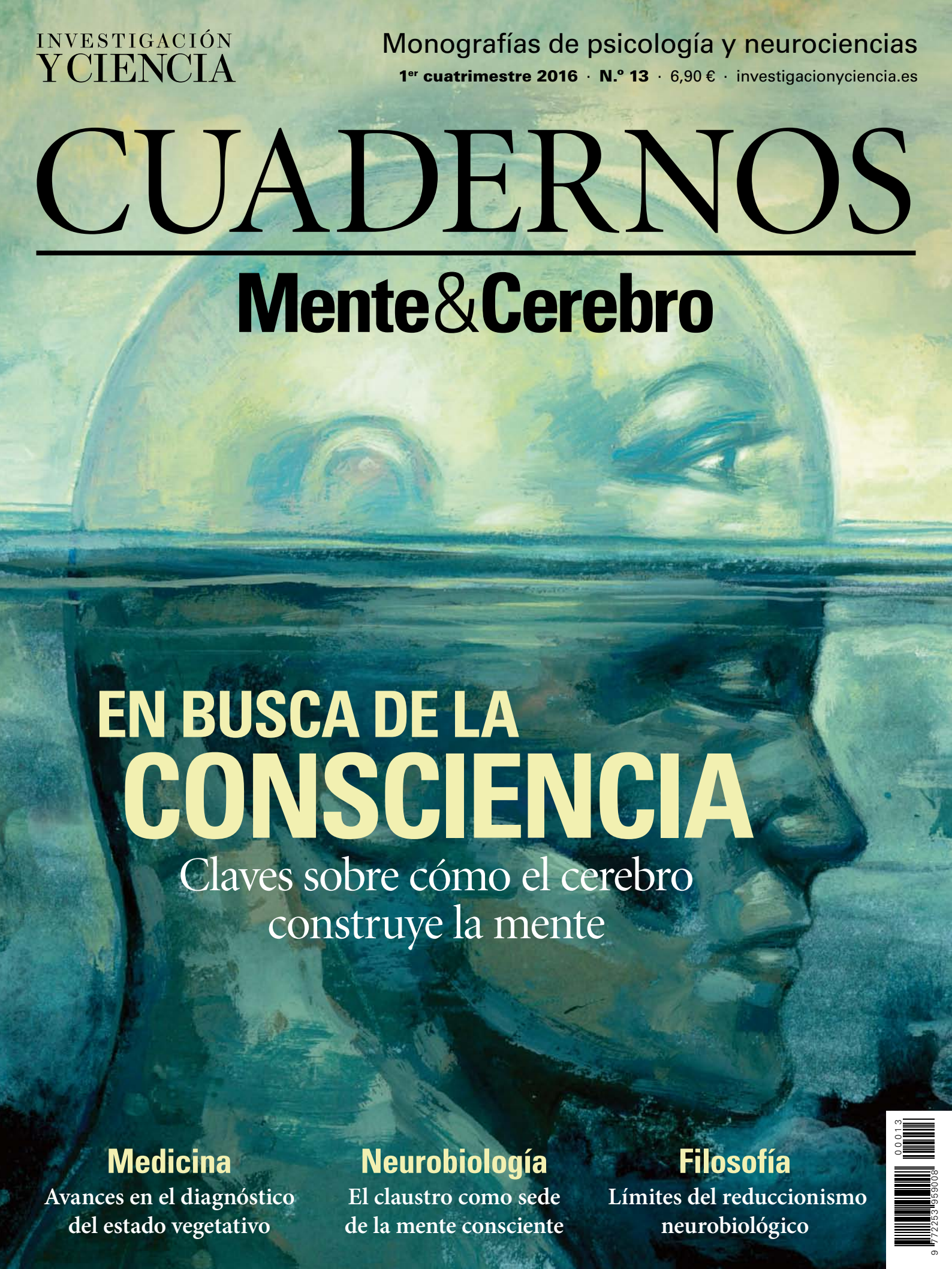
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Monografías de psicología y neurociencias

1er cuatrimestre 2016 · N.º 13 · 6,90 € · investigacionyciencia.es

CUADERNOS

Mente&Cerebro



EN BUSCA DE LA CONSCIENCIA

Claves sobre cómo el cerebro construye la mente

Medicina
Avances en el diagnóstico del estado vegetativo

Neurobiología
El claustro como sede de la mente consciente

Filosofía
Límites del reduccionismo neurobiológico

9 772253 959008 00013

NUEVOS **PACKS TEMÁTICOS**

Minicolecciones de monografías
sobre temas científicos clave

EL CEREBRO

~~27,60€~~ **21,99€**

- El cerebro, hoy
- El cerebro
- Las neuronas
- Neuroglia

LENGUAJE HUMANO

~~18,40€~~ **14,99€**

- El lenguaje humano
- Lenguaje y comunicación
- Multilingüismo (SOLO DIGITAL)

INTELIGENCIA Y COGNICIÓN

~~27,60€~~ **21,99€**

- Inteligencia viva
- La consciencia (SOLO DIGITAL)
- Orígenes de la mente humana
- En busca de la consciencia

PERCEPCIÓN

~~20,70€~~ **15,99€**

- Los cinco sentidos
- Ilusiones
- El mundo de los sentidos

Descubre estos y muchos otros packs temáticos en

www.investigacionyciencia.es/catalogo

Teléfono: 934 143 344 | administracion@investigacionyciencia.es

Prensa Científica, S.A.

La consciencia, un enigma por resolver

La doctrina frenológica del siglo XIX asociaba las distintas facultades psíquicas humanas (el amor, el orgullo, la honradez, etcétera) con determinadas sedes cerebrales, mas no sabía en qué área del cerebro alojar la consciencia. A lo largo del tiempo y coincidiendo con la evolución de las llamadas neurociencias en los años noventa del siglo pasado, el estudio de la consciencia ha ido progresando a partir de las investigaciones y los descubrimientos en torno a la mente desde diferentes ámbitos científicos: la neurobiología, la psiquiatría, la psicología, la medicina, la tecnología y la neurofilosofía, entre otros. Embarcados ya en el siglo XXI, parece que estos esfuerzos empiezan a dar sus frutos en el camino de descifrar el enigma de la consciencia, si bien existen muchas cuestiones por resolver. ¿Hay una única sede cerebral para la consciencia? ¿Se pueden explicar los asuntos mentales a partir de las descargas de un conjunto de neuronas? ¿Cabe reducir una percepción subjetiva a leyes puramente físicas? ¿Qué nos hace conscientes? ¿Carece una mente en estado vegetativo de capacidades cognitivas? ¿Poseen los animales consciencia? ¿Conviviremos algún día con robots capaces de emocionarse y sentir como los humanos?

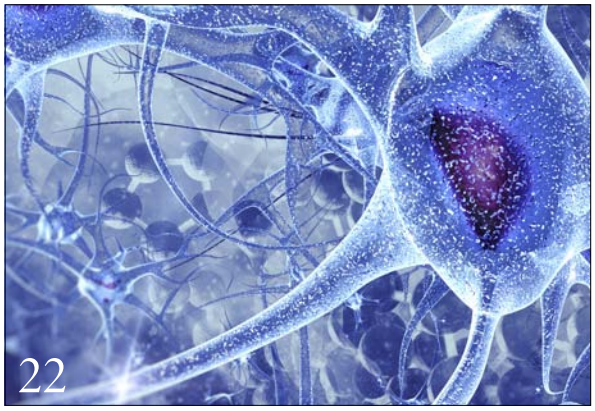
ANDRÉ KUTSCHERAUER

Esta nueva entrega de *CUADERNOS de Mente y Cerebro*, número con el que esta colección de monografías renueva su diseño, reúne los artículos más relevantes sobre la investigación de la consciencia publicados en el último decenio en *Mente y Cerebro*. El lector encontrará en sus páginas información sobre las diferentes técnicas, métodos y materiales que se han utilizado y se están empleando para conocer los mecanismos naturales de la consciencia, así como las dificultades con las que se tropiezan los investigadores que persiguen esta ambiciosa y discutida empresa. «Aunque las explicaciones reduccionistas no pueden demostrar completamente la experiencia y la conducta de una persona a través de la actividad de sus neuronas, buscar ciertos procesos subpersonales se encuentra en la esencia de la investigación», concluye la filósofa Manuela Lenzen (página 38).

—La redacción

EN ESTE NÚMERO

1 **Presentación** **La consciencia, un enigma por resolver**. *Por la redacción*



Desde la neurociencia

Neuropsicobiología

4 Bases nerviosas de la consciencia
Los extraordinarios avances de la investigación cerebral no se detienen ni siquiera ante uno de los grandes enigmas de la humanidad: la consciencia. Sobre este tema, campo reservado desde siempre a la filosofía, tiene mucho que aportar la investigación científica. *Por Gerhard Roth*

Historia

14 Francis Crick y la sede de la consciencia
Considerado, por su influjo, el Darwin del siglo xx, Francis Crick, codescubridor con James Watson de la estructura helicoidal del ADN, se propuso resolver otro problema capital de la biología: dónde se aloja la sede cerebral de la mente consciente. *Por José María Valderas*

Neurobiología

22 El claustro, director de la consciencia
En la profundidad del cerebro se aloja el claustro, un área reducida y bien conectada, cuya función todavía se desconoce. Las experiencias alucinatorias de consumidores de droga respaldan la hipótesis de que dirige nuestra consciencia. *Por Klaus Stiefel*

Neuroimagen

28 Mecanismos para leer la mente
Las técnicas de neuroimagen avanzan en el acceso a pensamientos y estados mentales. Sin embargo, la ciencia todavía debe recorrer un largo camino para descifrar, a partir de la actividad cerebral, qué nos pasa por la cabeza. *Por Daniel Bor*

Desde la psicología y la filosofía

Reduccionismo

34 La consciencia: ¿solo un montón de neuronas?
Ni un dios, ni un alma inmortal, ni tampoco un espíritu. Nuestra consciencia depende únicamente del cerebro. Esta reivindicación de algunos neurobiólogos despierta polémica y plantea ciertas preguntas. *Por Manuela Lenzen*

Inteligencia artificial

40 Los axiomas de la consciencia
¿Se puede aprender de los ordenadores algo sobre la consciencia humana? Muchos neurocientíficos lo niegan. Opinión que no comparten algunos estudiosos de la inteligencia artificial. *Por Igor Aleksander*

Autoconsciencia

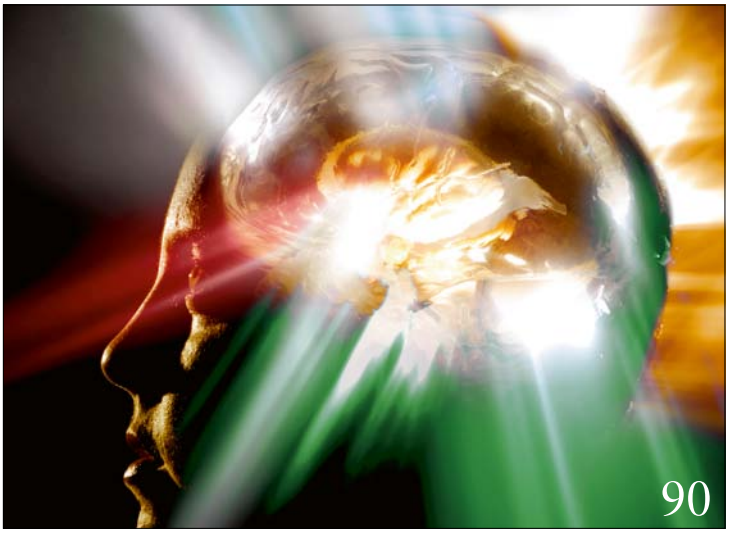
46 Una mirada al interior
Todo individuo posee una imagen de sí mismo estable y difícil de modificar. ¿De qué sirve tener un yo? Entre otras cosas, nos posibilita el control de los sentimientos y las acciones. *Por Uwe Herwig*

Fenomenología

52 La teoría de la información integrada
El pampsiquismo actualizado ofrece enseñanzas sobre cómo entender la experiencia de uno mismo. Esta antigua doctrina se basa en la universalidad de la consciencia. *Por Christof Koch*

Subconsciente

58 La mente inconsciente
Impulsos y deseos inconscientes impelen nuestro pensamiento en formas que Freud no imaginaba. *Por John A. Bargh*



Alteraciones de la consciencia

Epilepsia

66 Pérdida y recuperación de la consciencia

El estudio de cómo la consciencia se interrumpe durante los ataques epilépticos proporciona claves para entender su funcionamiento en el cerebro. *Por Don M. Tucker y Mark D. Holmes*

Anestesia

76 Claves moleculares de la anestesia general

Los médicos conocen numerosas sustancias que permiten la desconexión rápida y segura de la consciencia del paciente antes de una intervención quirúrgica. Sin embargo, los procesos cerebrales que acontecen durante la anestesia total constituyen todavía un enigma. *Por Christian P. Müller*

Estado vegetativo

82 Una nueva era en el diagnóstico del estado vegetativo

Los avances en el campo de la neuroimagen ofrecen alternativas novedosas para mejorar el diagnóstico de pacientes en estados de consciencia alterada tras una lesión cerebral. *Por Davinia Fernández Espejo*

Visión ciega

90 En busca de la consciencia perdida

A través de la investigación sobre videntes ciegos, niños sin cerebro y otros casos de deterioro neurológico podemos adentrarnos en el misterio de la percepción consciente. *Por Reinhard Werth*

Colaboradores de este número

Asesoramiento y traducción:

Francesc Asensi: *Bases nerviosas de la consciencia*, *El claustro, director de la consciencia*, *Pérdida y recuperación de la consciencia*, *Claves moleculares de la anestesia general*; Luis Bou: *Mecanismos para leer la mente*, *La teoría de la información integrada*, *La mente inconsciente*; Federico Fernández Gil: *La consciencia: ¿solo un montón de neuronas?*; I. Nadal: *Los axiomas de la consciencia*; Ángel González de Pablo: *Una mirada al interior*, *En busca de la consciencia perdida*

Portada: Tim Bower

Mente y Cerebro

Directora general: Pilar Bronchal Garfella
Directora editorial: Laia Torres Casas
Ediciones: Yvonne Buchholz, Anna Ferran Cabeza, Ernesto Lozano Tellechea, Bruna Espar Gasset
Producción: M.ª Cruz Iglesias Capón, Albert Marín Garau
Secretaría: Purificación Mayoral Martínez
Administración: Victoria Andrés Laiglesia
Suscripciones: Concepción Orenes Delgado, Olga Blanco Romero

EDITA
Prensa Científica, S.A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413
e-mail precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

Gehirn und Geist

Chefredakteur: Carsten Könneker (verantwortlich)
Artdirector: Karsten Kramarczik
Redactionsleiterin: Christiane Gelitz
Redaktion: Steve Ayan, Katja Gaschler, Andreas Jahn
Freie Mitarbeit: Liesa Klotzbücher, Rabea Rentschler, Joachim Retzbach, Daniela Zeibig
Schlussredaktion: Christina Meyberg, Sigrid Spies, Katharina Werle
Bildredaktion: Alice Krüßmann, Anke Lingg, Gabriela Rabe
Redaktionsassistenz: Hanna Hillert
Geschäftsleitung: Markus Bossle, Thomas Bleck

DISTRIBUCIÓN
para España:
LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Polvoranca - Trigo, 39, edificio B
28914 Leganés (Madrid)
Teléfono 916 657 158
para los restantes países:
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª - 08021 Barcelona

PUBLICIDAD
NEW PLANNING
Javier Díaz Seco
Tel. 607 941 341
jdiazseco@newplanning.es

Tel. 934 143 344
publicidad@investigacionyciencia.es

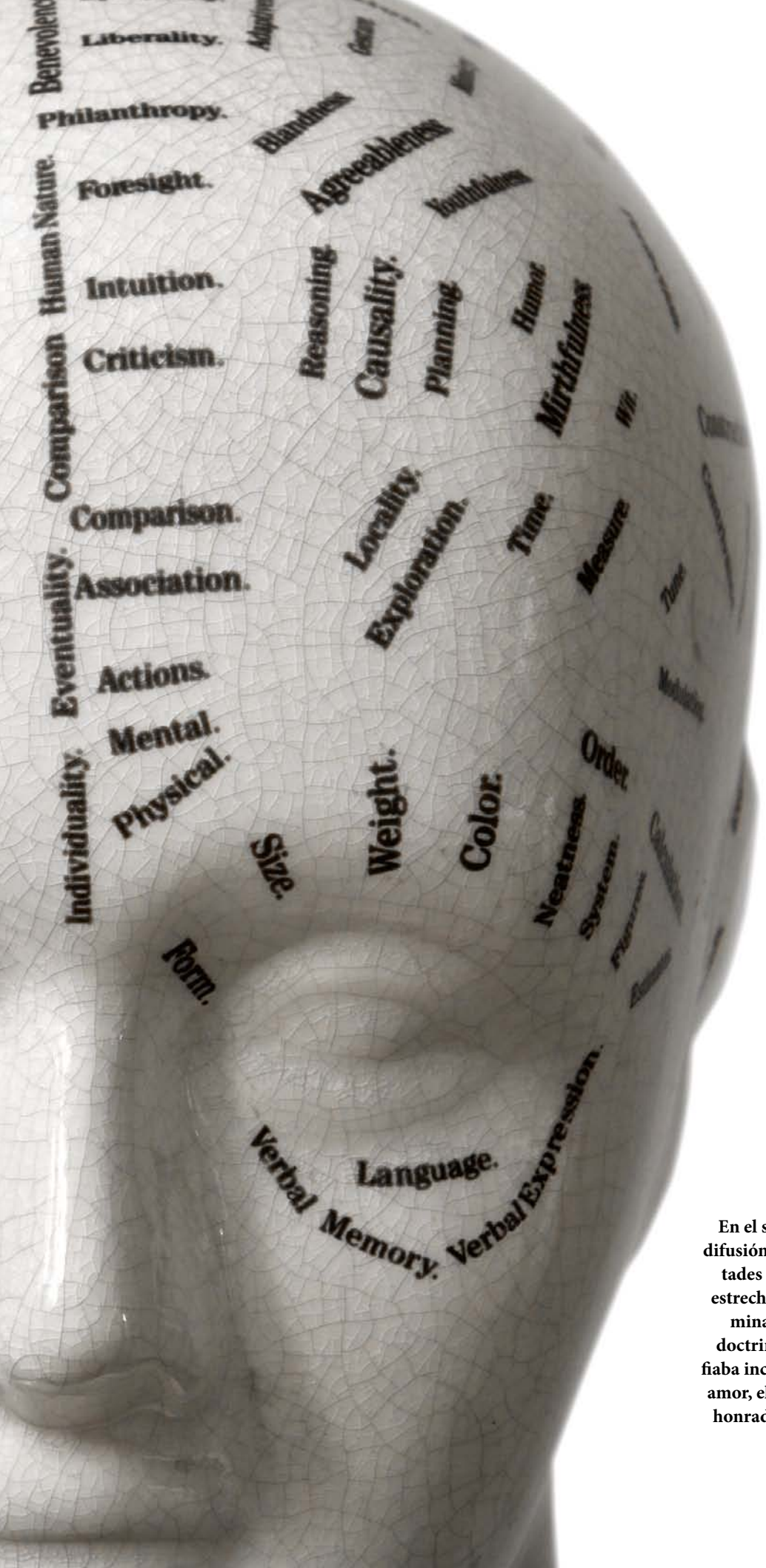
SUSCRIPCIONES
Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344
Fax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

Copyright © 2016 Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, D-69126 Heidelberg
Copyright © 2016 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista.

ISSN edición impresa: 2253-959X ISSN edición digital: 2385-569X
Dep. legal: B. 3021 – 2012

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica)
Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)
Printed in Spain - Impreso en España



En el siglo XIX gozó de amplia difusión la idea de que las facultades psíquicas se hallaban en estrecha vinculación con determinadas sedes cerebrales. La doctrina frenológica cartografiaba incluso distintas formas de amor, el orgullo, el egoísmo y la honradez. Pero no sabía dónde alojar la consciencia.

ISTOCK / TRENCHCOATES

NEUROPSICOBIOLOGÍA Los extraordinarios avances de la investigación cerebral no se detienen ni siquiera ante uno de los grandes enigmas de la humanidad: la consciencia. Sobre este tema, campo reservado desde siempre a la filosofía, tiene mucho que aportar la investigación científica

Bases nerviosas de la consciencia

GERHARD ROTH

¿Qué es la consciencia? El término está en boca de todos. Del que pide disculpas porque no «fue consciente» de haber omitido el saludo a un amigo, del que «tomará consciencia» de un problema o del que «reflexionará a consciencia sobre él». Pero si preguntamos a cada uno qué entiende por *consciencia*, las respuestas divergirán.

No debe extrañarnos. La respuesta no es sencilla ni siquiera para los expertos. La consciencia engloba una amplia variedad de situaciones con un denominador común: el ser vivida e informada por uno mismo. En consecuencia, sería preferible no hablar de «la» consciencia, objeto habitual del debate filosófico. La forma más general de consciencia es la «vigilia» o «vigilancia», estado que se contrapone a los de somnolencia, obnubilación, aturdimiento y otros grados de consciencia disminuida que pueden llegar al coma profundo.

Los investigadores distinguen entre la consciencia «de fondo» y la consciencia actual. La primera comprende vivencias duraderas tales como la de cuerpo («el cuerpo en que estoy incluido es mi cuerpo»), identidad («tengo mi propia identidad»), control («soy quien origina y controla mis actividades corporales y psíquicas») y localización («mi propio yo y mi cuerpo ocupan un determinado lugar en el espacio y en el tiempo»).

También forman parte de este tipo de consciencia la condición real concedida a las vivencias y, en relación con ello, la diferenciación entre realidad y ficción. Sobre esta «consciencia de fondo» surgen los estados concretos, a veces cambiantes, de la consciencia actual. Entran en dicha categoría las percepciones sensoriales conscientes de acontecimientos del mundo exterior o del propio

En síntesis: Capacidad compleja

1 Desde diferentes ámbitos de la neurociencia y la psicología se intenta explicar la consciencia y sus mecanismos neuropsicobiológicos.

2 Además de las percepciones conscientes, nuestro cerebro elabora información de la que no somos conscientes: se trata de la percepción implícita.

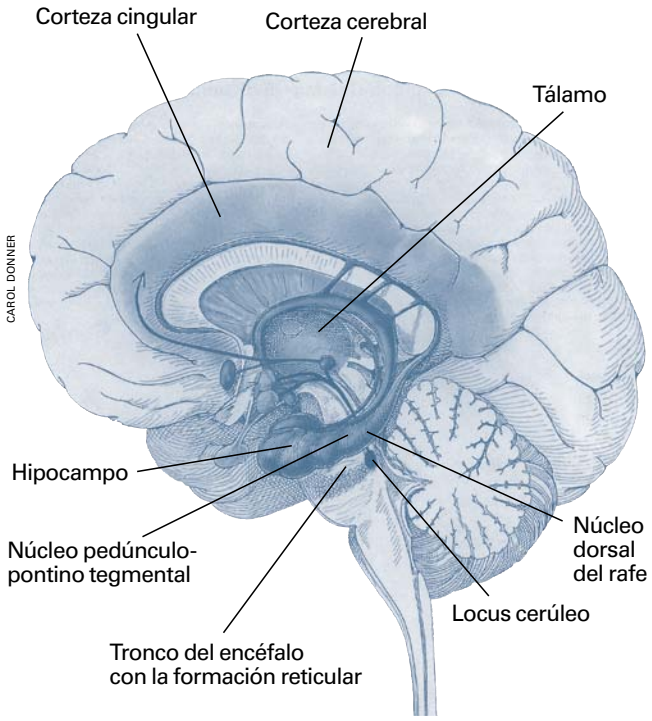
3 Según los científicos, solo tomamos consciencia de aquello que va unido a la actividad de las llamadas áreas asociativas de la corteza.

El umbral de la consciencia

De acuerdo con el estado actual de la ciencia, solo somos conscientes de aquello que supone actividad en la neocorteza. Para que se dé algún grado de consciencia, deben entrar en funcionamiento muchas partes del cerebro que, por su parte, operan de forma inconsciente.

Entre las estructuras cerebrales que revisten importancia fundamental en el mantenimiento del estado de vigilia y de consciencia, sobresale la formación reticular. Se trata de una estructura constituida por tres filas longitudinales de grupos celulares, los núcleos. A lo largo de la línea media (rafe) se encuentra el grupo celular central, que comprende los núcleos del rafe. Para las sensaciones y cogniciones interesan los núcleos del rafe situados dorsalmente. Las fibras nerviosas que parten de estos núcleos van a parar a muchos otros centros cerebrales, tálamo incluido, desde donde arrancan otras fibras en su camino hacia la corteza cerebral.

A un lado y otro de los grupos nucleares centrales residen los mediales. Las fibras que parten de las neuronas de estos grupos se dirigen también al tálamo, y de allí, a la corteza. Los grupos nucleares mediales forman el sistema activador ascendente. Recibe impulsos de todos los sistemas sensoriales, que portan información de cuanto ocurre en nuestro cuerpo y en el medio en que se encuentra. En el momento en que se advierte una novedad reseñable, a través de la estimulación de los núcleos intralaminares y de la línea media del tálamo, aumenta la actividad general de la corteza cerebral y, con ello, el estado de vigilia.

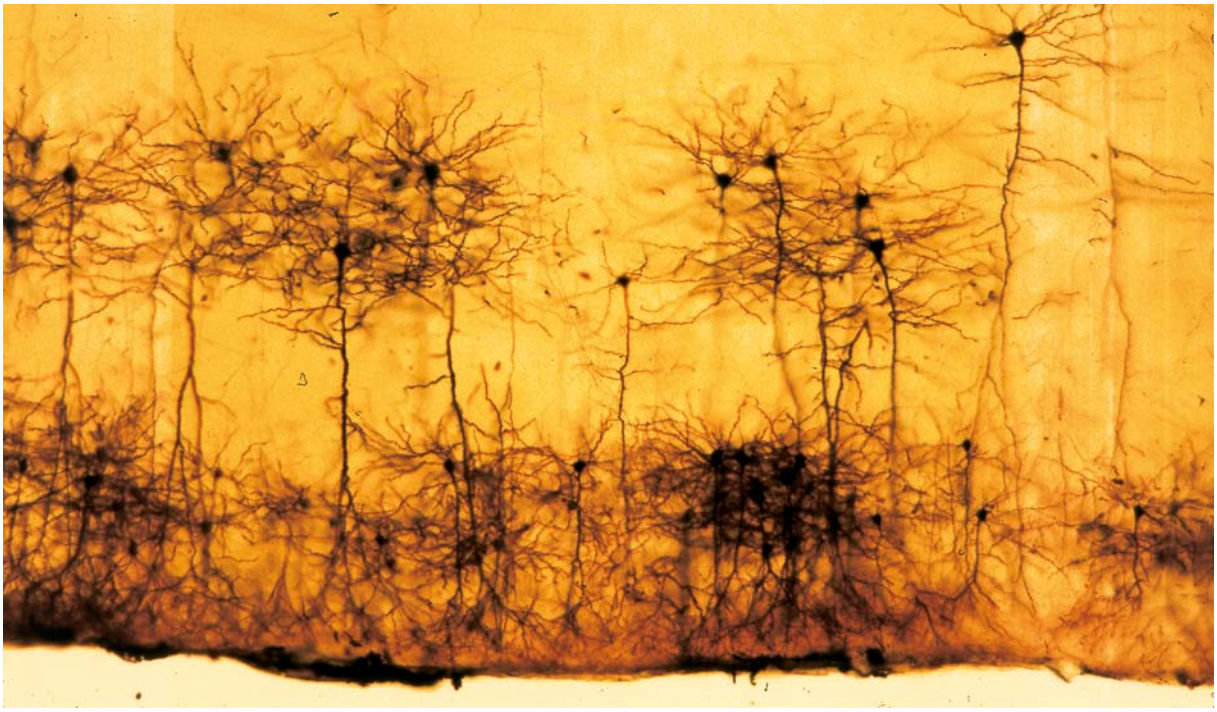


En la parte externa de la formación reticular se aloja el grupo nuclear lateral. El núcleo más anterior es el núcleo pedúnculo pontino tegmental (PPT); a través de la base del cerebro anterior, está en conexión con la corteza cerebral. El locus cerúleo («sitio azul») presenta aproximadamente las mismas conexiones que el núcleo dorsal del rafe.

Los grupos nucleares centrales y laterales, entre ellos de manera particular el núcleo dorsal del rafe, el PPT y el locus cerúleo, actúan de forma más específica que el grupo medial. Se supone que, mediante el neuromodulador noradrenalina, sus conexiones informan al cerebro, a la corteza sobre todo, de la presencia de estímulos nuevos o extraordinarios. Por el contrario, el PPT y la base del cerebro anterior recurren a la acetilcolina para advertir de la importancia de los estímulos y, en consecuencia, del grado de atención que hay que prestarles y de la memoria que merece ser grabada. Según parece, los núcleos del rafe, a través de la serotonina, atenúan las áreas destinatarias de sus estímulos, sobre todo las de la corteza. Impiden así actos movidos por impulsos excesivamente rápidos; su mensaje es: «Todo está bien como está».

Los neurofisiólogos consideran la conjunción de tálamo e hipocampo la puerta que da acceso a la consciencia. A través de los núcleos de conexión talámicos, los estímulos sensoriales llegan a zonas estrictamente delimitadas de las áreas sensoriales de la corteza. Lo que contrasta con los núcleos intralaminares y centrales del tálamo, que tienen unas conexiones harto difusas con la corteza cerebral. Estos núcleos, que desempeñan el papel de estaciones retransmisoras entre la formación reticular y la corteza, cumplen una valiosa función reguladora de la actividad general de la corteza y de la consciencia.

Se ha descubierto un sistema que relaciona todos los núcleos talámicos formado por las células matriciales. Sus vías eferentes se dirigen a extensas áreas de las capas superiores de la corteza. Al igual que los núcleos intralaminares, las células matriciales regulan la actividad general de la corteza y el grado de consciencia. El núcleo reticular talámico envuelve, a la manera de una vaina, la parte lateral del tálamo; interviene en la atención y en la consciencia. Controla la actividad de los núcleos intermediarios talámicos y constituye una suerte de filtro para la consciencia. Se llama sistema tálamo-cortical al conjunto de las conexiones entre el tálamo y la corteza; integrado por miles de millones de fibras nerviosas ascendentes y descendentes, está formado por una combinación de conexiones locales y de gran amplitud que, merced a la intervención del núcleo reticular talámico, pueden actuar estimulándose e inhibiéndose mutuamente.



THORSTEN LAUX

En la sección de la corteza cerebral de ratón aparecen teñidas las neuronas con impregnación de Golgi. Se advierte con nitidez la ordenación de las células en capas.

cuerpo, las actividades psíquicas tales como pensar, imaginar y recordar, las emociones, afectos y necesidades fisiológicas (como por ejemplo el hambre), y, por fin, los deseos, intenciones y actos voluntarios. En su conjunto, la consciencia «de fondo» y la consciencia actual constituyen la clásica «corriente de la consciencia».

A raíz de determinadas lesiones cerebrales, pueden quedar afectadas, más o menos independientemente, diversas peculiaridades de la consciencia. Hay personas que tienen las funciones de percepción, recuerdo e ideación completamente normales, pero al mismo tiempo se muestran convencidas de que su brazo derecho o incluso todo su cuerpo no les pertenece. Otros pacientes, con una vivencia perfecta de su cuerpo y del ambiente que les rodea, no saben exactamente quiénes son o dónde se encuentran en un momento dado. El estudio de estos casos permite a los neurólogos identificar los distintos elementos de la consciencia y localizarlos en el cerebro.

Constituye la atención un estado especial y habitual de consciencia. Aunque no somos apenas conscientes de todo lo que queda fuera de la misma, influye en la forma en que percibimos, sentimos o actuamos. La atención, en cuanto «concentración», refuerza ciertos estados de la consciencia. Tales estados van acompañados de percepciones sensoriales definidas en un espacio, tiempo y contenido, o bien de situaciones psíquicas especiales, como la meditación profunda. De ello se deduce algo que sabemos por intuición: cuanto mayor es la atención prestada a un particular, tanto más desatendido dejamos el resto.

Cuando se aborda la naturaleza de la consciencia suele pasarse por alto que de la mayor parte de lo que sucede en torno a nosotros, en nosotros y con nosotros no tenemos por qué ser necesariamente conscientes. En ello hemos de incluir en primer lugar lo que capta nuestro cerebro en el seno materno o en los primeros dos o tres años de vida, antes de adquirir una consciencia capaz de rememorarse.

También en la vida cotidiana nuestro cerebro experimenta y elabora muchos procesos de los que nunca seremos conscientes. A este respecto, los neurólogos hablan de percepción y aprendizaje implícitos, en contraposición con la percepción y el aprendizaje explícitos de los que nos damos cuenta y podemos informar. En todo caso, se admite que la percepción inconsciente lleva solo a un procesamiento «superficial» de la información: se reconocen objetos, procesos o situaciones en determinadas

EL AUTOR

Gerhard Roth es director del Instituto de Investigación Cerebral de la Universidad de Bremen y rector-fundador del Colegio Hanseático de Ciencias en Delmenhorst.

PRIVADO

El neurólogo Benjamin Libet (1916-2007), pionero en el estudio de la consciencia, consideraba el libre albedrío una mera ilusión.

condiciones psíquicas y de acuerdo con unas reglas simples, pero no se perciben detalles ni contenidos que sean significativos y complejos.

De la mayoría de las cosas de las que, en principio, podemos ser conscientes no lo somos en realidad. Afirmación que puede aplicarse a cuanto, en su momento, se vivió de un modo consciente y acabó almacenado en alguna de las diversas memorias del cerebro. Algunas de tales vivencias pueden recuperarse voluntariamente con mayor o menor esfuerzo; otras se habrán perdido para siempre.

Muchas acciones, en particular si requieren aprendizaje, necesitan que al principio se les preste una atención consciente. Ir en bicicleta, tocar el piano o manejar una complicada máquina son operaciones que no pueden aprenderse sin concentración. Con la práctica, va disminuyendo la necesidad de concentración para terminar por convertirse en «automáticas». Incluso sucede a menudo que, al prestar atención a algún detalle de las mismas, se trastorne su desarrollo fluido.

Así pues, la consciencia actual, la atención de manera especial, aparece siempre que el cerebro ha de habérselas con acontecimientos o problemas que se consideran importantes o nuevos. Esto presupone un sistema que funciona de forma inconsciente o preconsciente. Con ayuda de los distintos tipos de memoria, cuanto percibe el cerebro se clasifica según los criterios de «importante-no importante» o de «nuevo-conocido»:

• Si algo es inconscientemente considerado irrelevante, no llegará a la consciencia o lo hará de forma poco definida.

• Lo que se reputa «importante, aunque conocido» activa procesamientos que ya se han ocupado del tema; en consecuencia, llevan a actuaciones rutinarias que apenas son conscientes, si es que lo son en algún grado.

• Solo cuando un acontecimiento o una acción se reciben como importantes y nuevos (reconocimiento de nuevos significados, resolución de problemas complicados y aprendizaje de habilidades motoras), se ponen en funcionamiento los sistemas de consciencia y atención. En este sentido, la consciencia es una clase especial de procesamiento de la información. Sobre todo en relación con actuaciones complejas, pueden así dominarse acontecimientos y problemas demasiado complicados para resolverlos en el plano inconsciente.

La cuestión del libre albedrío

En los últimos años, los neurofisiólogos han avanzado en la identificación de las zonas cerebrales que desempeñan una función decisiva para la consciencia. Solo tomamos consciencia de aquello que va unido a una actividad de las áreas asociativas de la corteza. Los procesos operados fuera de la corteza cerebral y en sus regiones sensoriales quedan al margen de nuestra consciencia, aunque para ser consciente resulte necesaria la activación, previa o simultánea, de tales áreas cerebrales. Los distintos grados de nuestra consciencia constituyen el resultado final de procesos extraordinariamente complejos que cursan de forma inconsciente, afirmación que se aplica también a la sensación de disponer de libre albedrío en nuestras intenciones y actos.

Hace unos veinte años, el grupo encabezado por Benjamin Libet, de la Universidad de California en San Francisco, acometió una serie de investigaciones que causaron un importante revuelo en otros campos. De tales estudios se llegó a la conclusión de que los centros subcorticales profundos pueden determinar la actividad de la corteza cerebral en actos que tomamos por deseados. Dicho con otras palabras: la decisión de realizar una acción hunde sus raíces en un plano inconsciente antes de pasar al plano de la consciencia. En la misma línea abundan resultados recientes obtenidos por Patrick Haggard y Martin Eimer, del Colegio Universitario de Londres.

De acuerdo con esos hallazgos, los centros subcorticales influyen en las áreas corticales que nos posibilitan la consciencia y que preparan y dirigen los actos voluntarios. Importa reseñar a este respecto que los ganglios basales subcorticales responsables de los movimientos conscientes influyen sobre el sistema límbico. Se trata de un sistema formado, entre otros, por las regiones organizadoras de la memoria emocional y de la memoria cognitiva. En toda esa constelación radica la base neuronal de lo que podría llamarse «autonomía de actuación del individuo», es decir, la dirección de nuestros actos mediante la propia experiencia.

Los dos organizadores de la memoria, el emocional y el cognitivo, actúan preferentemente de forma inconsciente. El yo consciente, con toda su importancia funcio-

nal, no ejerce una influencia decisiva, sino solo consultiva sobre las acciones que cree haber elegido. En este sentido, la «libre voluntad», interpretada subjetivamente, no constituye la última instancia que controla nuestra conducta.

¿Cómo saben los neurobiólogos de qué manera determinados estados de consciencia dependen de la actividad de ciertas estructuras cerebrales? En los pacientes con lesiones cerebrales hallan una valiosa fuente de información. Sin embargo, las consecuencias que se derivan de dichas lesiones no aportan dato alguno sobre los mecanismos neuronales en los que se basa la consciencia. Para ello necesitamos métodos que detecten la actividad neuronal, empezando por la de una sola célula o de sus puntos de contacto (sinapsis) hasta llegar a la actividad de los millones o miles de millones de neuronas que componen la corteza cerebral.

Las técnicas modernas de formación de imágenes permiten hacerse una idea de la actividad cerebral: la encefalografía magnética, la tomografía de emisión de positrones y la resonancia magnética nuclear funcional. La electroencefalografía recoge las «ondas de corriente cerebral». Mediante microelectrodos implantados en lugares de interés se registra la actividad de sinapsis, células o grupos celulares determinados.

¿Qué ocurre en las áreas cerebrales exploradas con estos métodos cuando se experimentan determinados estados de consciencia? No puede tratarse de un simple

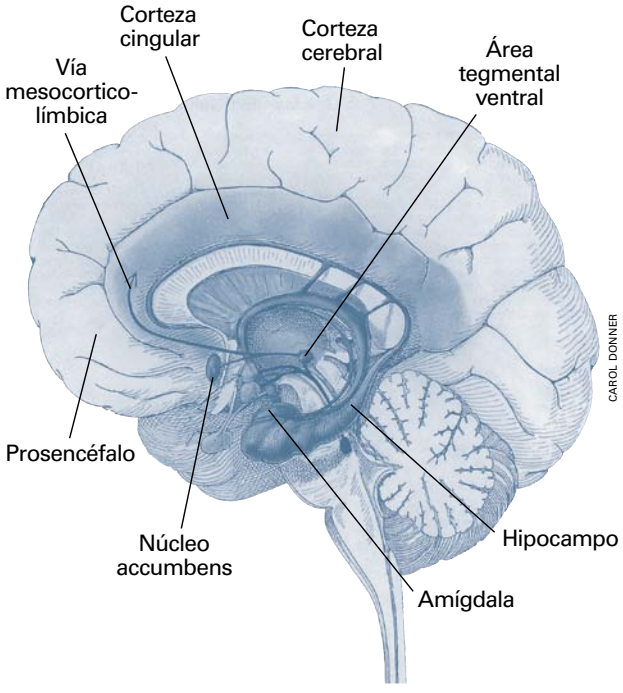
Sensación y memoria

Las sensaciones son un componente importante de nuestras vivencias conscientes. Tienen un origen subcortical: surgen en virtud de la actuación de centros del sistema límbico sobre la corteza cerebral. En este contexto, el núcleo amigdalino, la amígdala, desempeña una función capital, pues origina y procesa inconscientemente estados y vivencias emocionales y, sobre todo, reconoce estímulos ambientales perjudiciales o que infundan temor. Creen algunos investigadores que la amígdala participa también en estados emocionales sin vinculación con el miedo; antes bien, se experimentan como algo positivo (la curiosidad y la iniciativa).

Las sensaciones de placer, satisfacción y bienestar guardan relación con la actividad del sistema mesolímbico, que consta del núcleo accumbens y del área tegmentaria ventral. Cuando se presenta un estado positivo, una situación de placer, a través de dopamina y de sustancias opiáceas endógenas, se relaciona con otros centros cerebrales y, en especial, con la corteza. El sistema mesolímbico, a través de la dopamina, puede informar de las expectativas de una conducta que produzca satisfacción y placer y, en consecuencia, deba ponerse en obra.

El contenido de la memoria, la atención y las sensaciones se numeran entre los componentes principales de la consciencia. A la memoria consciente se la conoce también por memoria declarativa. Los substratos de esta son el hipocampo y la corteza cerebral que lo envuelve. Por ese motivo, estas estructuras representan también una «puerta» de acceso a la consciencia. Ahora bien, el contenido de la memoria declarativa no se almacena en el hipocampo, sino en diversas áreas de la corteza, según las modalidades sensoriales y funcionales de cada caso. Dentro de la memoria declarativa se distinguen dos tipos. La memoria de conocimiento comprende hechos independientes de personas, lugares y tiempos. La memoria episódica contiene vivencias concretas en relación con la propia persona. El núcleo central de la memoria episódica es la memoria autobiográfica, que representa el fundamento de la consciencia del yo. Se supone que el hipocampo constituye el substrato de la memoria episódica, y la corteza envolvente, el de la memoria de conocimiento.

Entre el sistema límbico y la corteza cerebral yace la corteza cingular. Desempeña una función importante en la dirección de la atención y el matiz emocional de las percepciones (la sensación de dolor, por ejemplo). Además, la corteza cingular trabaja conjuntamente con el cerebro anterior en el reconocimiento y la corrección de los errores.



aumento pasajero del ritmo de impulsos nerviosos, fenómeno recurrente en las distintas zonas del cerebro, sin que nos apercibamos de ello. Se tiende a admitir, por contra, que en la base de los estados de consciencia se hallan procesos de «reorganización del cableado» de la red nerviosa de la corteza cerebral. En los humanos, esas redes se tejen con millones de neuronas con múltiples conexiones. Los puntos de conexión pueden, en un determinado momento, intensificar o debilitar instantáneamente sus contactos, lo que comporta un cambio en el procesamiento local de la información. De acuerdo con ciertos investigadores, así se verían transitoriamente involucradas en un mismo estímulo determinadas redes parciales.

Semejante intervención sincrónica facilitaría, por ejemplo, el reconocimiento de un objeto concreto entre una muchedumbre o la intelección de una frase. Durante un breve tiempo, varias neuronas constituirían una unidad de significado. En el establecimiento de la actividad sincronizada desempeña un papel principal la combinación de conexiones entre el tálamo (importante centro de comunicaciones nerviosas en el diencéfalo) y la corteza cerebral, que en unos momentos tiene un ámbito local y en otros abarca una extensa superficie. En este contexto se habla de sistema tálamo-cortical.

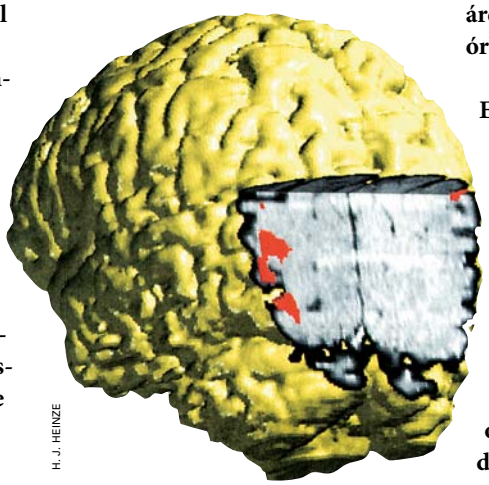
Pensar al segundo

En las áreas cerebrales que intervienen en la consciencia hay sustancias moduladoras. Influyen en los cambios bruscos operados en la velocidad de transmisión a través de la sinapsis. En la síntesis de estas sustancias cumplen una función fundamental la denominada «formación reticular» y distintos centros límbicos. Las sustancias encargadas de la transmisión de señales entre las neuro-

En busca de la consciencia

En los humanos resulta harto difícil establecer la trayectoria exacta que siguen las fibras que parten de una célula o de grupos celulares. Los esfuerzos se centran en las oportunidades que prestan las intervenciones quirúrgicas. Para abordarlo directamente, se trabaja con animales de experimentación. Las conexiones nerviosas cerebrales no son dolorosas; el cerebro es insensible al dolor. Se ha demostrado en macacos que las neuronas del lóbulo parietal empiezan a mostrar una gran actividad en cuanto el animal fija su atención en un determinado estímulo visual. Al propio tiempo, aumenta la sincronización de las neuronas que reaccionan ante las diversas características visuales del mismo objeto. Hace pocos años se descubrieron en la corteza prefrontal (la zona más anterior de la región frontal de cerebro) las neuronas que constituyen la base de la memoria operativa. Se identificaron mediante tareas comparativas retardadas. El mono debía prestar atención durante algunos segundos para darse cuenta bajo qué objeto se encontraba escondida una recompensa. Durante ese tiempo de identificación se registró en la corteza prefrontal una intensa excitación de las neuronas retardadas, actividad que podía prolongarse hasta un minuto. Sin la menor duda, dicha actividad corresponde al proceso de retención.

Los métodos de exploración iconográfica, tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética nuclear funcional extraen partido del metabolismo acelerado de las áreas con neuronas muy activas. Consumen más oxígeno y glucosa, lo que supone un mayor riego sanguíneo. La precisión alcanzada en las mediciones por tales métodos ronda los milímetros y los segundos. En la especie humana, dentro de estas magnitudes, la percepción, la cognición, el sentimiento y los movimientos coinciden temporal y espacialmente con un aumento de la actividad en determinados centros cerebrales. Cuando una persona fija su atención en objetos, panoramas o escenas, se registra una intensa actividad en la zona de transición de los lóbulos occipital y temporal. Si se trata del análisis de una frase, la zona implicada es el centro del habla de Broca. El giro cingulado, una importante circunvolución en el sistema límbico, se excita cuando el individuo siente dolor. Si el sujeto se halla ante la tesitura de tomar una compleja decisión, la actividad corresponde a la corteza prefrontal y a las áreas limítrofes por encima de la órbita (corteza orbitofrontal).



H. J. HEINZE

En el experimento, el sujeto debe fijarse en un punto del campo visual y concentrarse simultáneamente en algún suceso que ocurra en el campo visual derecho. Mediante la resonancia magnética nuclear funcional se revelan alteraciones de la actividad (*rojo*) en el área de transición entre los lóbulos temporal y occipital del hemisferio izquierdo del cerebro.

¿Tienen consciencia los animales?

La cuestión de si los animales tienen consciencia es tan antigua como la de la naturaleza de la propia consciencia humana. Suscita también disparidad de opiniones. En su mayoría, los investigadores aceptan que el problema no puede resolverse a través de la mera observación. Se trata, a la postre, del problema de la consciencia ajena.

Con métodos apropiados, y hasta cierto punto, pueden sacarse a la superficie la presencia o ausencia de estados de consciencia en animales de especies cercanas a nosotros. Podemos poner a los simios ante tareas cognitivas que los humanos no podemos realizar sin prestar una atención consciente. Los animales pueden seguir en una pantalla los movimientos de un punto o, en tareas de comparación postergada, retener en la memoria una situación determinada. Parece improbable que el chimpancé o el macaco realicen misiones tan complejas sin prestar una atención consciente y nosotros no estemos en condiciones de hacerlo. Por otro lado, las exploraciones de formación de imágenes revelan que, durante esa actividad, se intensifica la excitación de las mismas áreas corticales en los monos que en nosotros.

Apoyados en estas investigaciones, podemos afirmar que los primates y otros simios disponen de una percepción, una atención y una capacidad de imaginar conscientes. Tienen, además, una consciencia de su propio cuerpo, ya que para planificar alguna conducta compleja deben tomar en consideración el tamaño y los movimientos de su cuerpo. Es probable, aunque difícil de demostrar, que los primates (chimpancés, gorilas y orangutanes) cuenten con una consciencia de sí mismos y se perciban distintos de los demás. Cuanto más se alejen su conducta y anatomía cerebral de las nuestras, tanto más difícil resultará investigar los estados de consciencia en los animales.

Se trata de un problema que adquiere un color especial en el caso de ballenas y delfines, portadores de unos cerebros gigantescos aunque con una corteza muy fina. Se torna asimismo arduo de explorar en aves, dueñas algunas de un comportamiento inteligente: piénsese en los cuervos o en los papagayos. Disponen también de un cerebro grande y con estructura compleja, pero su corteza cerebral —o lo que en las aves se toma por tal— difiere mucho de la nuestra. Lo mismo puede decirse de reptiles, anfibios y peces. El problema resulta insoluble en los invertebrados, algunos de los cuales presentan un cerebro notable y muestran una conducta inteligente (como los cefalópodos).

ZOO DE BARCELONA

Parece claro que la consciencia ha seguido un curso evolutivo paralelo al de la adquisición de cerebros grandes y complejos, no circunscrita a la especie humana. Sin embargo, todo habla a favor de que existen determinadas formas de consciencia exclusivas de los humanos. Al menos, las que aparecen asociadas a un lenguaje elaborado y sintáctico, es decir, el recapacitar y expresarse sobre el propio yo y el yo de los demás. Solo humanas serían también las formas de consciencia relacionadas con una planificación a largo plazo.

---

nas (los neurotransmisores glutamato o ácido gamma-aminobutírico) actúan en el intervalo de milisegundos; necesitan un segundo, si no más, los procesos neuromoduladores y las reacciones químicas a ellos asociadas en el interior de las células o en las sinapsis. Tal vez se encuentre ahí el sustrato del «segundo de la consciencia»: en el intervalo de un segundo tienen lugar percepciones, sensaciones, pensamientos y recuerdos.

Los procesos neuromoduladores consumen oxígeno y glucosa. En consecuencia, el flujo sanguíneo local experimenta una brusca y fugaz subida, gracias a lo cual puede hacerse visible mediante tomografía de emisión de positrones o en una resonancia magnética nuclear funcional.

Imaginemos que nos proponemos identificar cierto objeto que se halla en una escena compleja. Al principio deberemos concentrarnos, con la consiguiente intensificación de la actividad de los lóbulos temporales y occipitales: las redes ya dispuestas han de alterar las velocidades de transmisión sináptica, si no formarse nuevas redes hasta encontrar la solución. Después de algunas repeticiones, disminuye el trabajo de conexiones en la corteza cerebral; encontramos la solución con un esfuerzo psíquico mucho menor. Tras algunas iteraciones, apenas podrá reconocerse en la tomografía de emisión de positrones o en la resonancia magnética nuclear funcional de nuestro cerebro un incremento de la actividad cortical, porque las conexiones en las redes afectadas funcionan de forma mucho más efectiva y no necesitan ningún aporte adicional de glucosa y oxígeno.

Más llamativo es lo que sucede en el aprendizaje de una secuencia motora compleja. Al principio debemos concentrarnos para conseguir los movimientos que

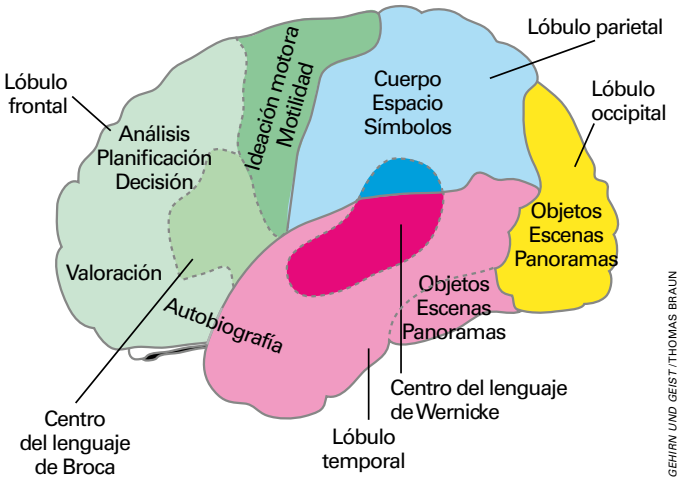
La sede de la consciencia

La neocorteza consta de cuatro grandes lóbulos cerebrales: occipital, parietal, temporal y frontal. Desde el punto de vista funcional, se distinguen las áreas sensoriales, motoras y asociativas. Las áreas sensoriales procesan las percepciones que llegan desde los órganos de los sentidos; las motoras dirigen los movimientos voluntarios de cada uno de los músculos o grupos musculares. Solo las actividades de las áreas asociativas resultan conscientes.

Los cuatro lóbulos cerebrales contienen partes de la corteza asociativa. Se encuentra en las porciones media, posterior e inferior del lóbulo parietal. Cumple a estas áreas la percepción consciente y la identidad del propio cuerpo, la planificación de los movimientos, la percepción, orientación e ideación espacial y la atención a los elementos espaciales. Gracias a ellas podemos imaginar un mundo de tres dimensiones, conocer el lugar donde nos hallamos, percibir una perspectiva espacial y afrontar conceptos espaciales abstractos. Aquí se incluye el conocimiento, interpretación y utilización de mapas, figuras y símbolos abstractos.

La corteza asociativa del lóbulo temporal es responsable de la visión y de la audición. Su porción inferior, así como las zonas limítrofes del lóbulo occipital, reconocen objetos, panoramas y escenas. Las partes media y superior procesan ruidos, melodías y el habla. Reside aquí también el centro del lenguaje de Wernicke, que en la mayoría de las personas se encuentra en el hemisferio izquierdo. Este centro se ocupa del significado de las palabras y frases sencillas.

La corteza asociativa del lóbulo frontal está formada por una porción superior, otra lateral (la corteza prefrontal) y una tercera sita por encima de la órbita ocular (corteza orbitofrontal). La corteza prefrontal contribuye a la estructuración temporal y espacial de las percepciones sensoriales, a la actuación planificada y contextualizada, al habla, a la solución de los problemas y a la dirección del contenido de pensamientos y actos. De este modo, su actividad constituye la base de nuestros planes conscientes y proyectos de actuación. De manera preferente, la corteza orbitofrontal se ocupa de las intenciones, motivaciones y sentimientos, así como de supervisar las consecuencias de nuestros propios actos. En razón de ello, algunos autores lo consideran la «sede» de la moral y, por ende, de nuestra consciencia. El centro del lenguaje de Broca, alojado también en el lóbulo frontal, se ocupa de la producción del habla, de la sintaxis y del sentido de las frases.



GEHIRN UND GEIST / THOMAS BRAUN

pretendemos realizar; en las áreas respectivas de la corteza se registra el correspondiente aumento de actividad. Después de un suficiente adiestramiento podemos imaginar que ejecutamos esos movimientos y pensar, al propio tiempo, en otro asunto. Las redes nerviosas participantes reducen su alcance, para situarse de modo creciente en la corteza motora que rige los movimientos inconscientes y en centros motores profundos (cerebelo y ganglios basales). Los movimientos automáticos van así alejándose de nuestro control consciente. El cerebro busca siempre automatizar los procesos, excluyéndolos de la consciencia. De esta forma realiza su trabajo con mayor celeridad, eficacia y ahorro metabólico. No olvidemos que el funcionamiento consciente resulta lento, expuesto a errores y «caro». En cualquier caso, los asuntos nuevos y complejas no pueden solucionarse por primera vez al margen de la consciencia.

Aunque no conocemos con exactitud todos los acontecimientos que suceden en el cerebro acompañando a los procesos conscientes, hay una cosa clara: la consciencia aparece vinculada a determinados procesos físicos, químicos y fisiológicos. Si se bloquean estos en la corteza, por interrupción de los cambios rápidos en la velocidad de conducción a través de las sinapsis o en la actividad sincrónica, dejamos de estar en condiciones de acometer determinados actos motores o cognitivos que requieran la consciencia.

Asociaciones cerebrales

¿Por qué solo son conscientes los procesos que tienen lugar en la corteza asociativa? Ni en su estructura ni en su constitución, las áreas de la corteza asociativa difieren sustancialmente del resto de la corteza cerebral. Tanto en un caso como en otro se distinguen seis capas con una

estructura celular bastante homogénea. Sus vías aferentes y eferentes están relacionadas con cada una de las capas.

En las áreas sensoriales de la corteza cerebral (primarias y secundarias) se produce un primer procesamiento, de bajo nivel, de las informaciones procedentes de los órganos de los sentidos. Las regiones asociativas se hallan en conexión con dichas áreas y dan cuenta de un procesamiento jerárquicamente superior. De esta manera, las informaciones recibidas por los ojos se encaminan, a través del tálamo, hacia la corteza visual primaria y secundaria; desde allí se dirigen a las áreas asociativas visuales de los lóbulos parietal y temporal.

Existen, en cualquier caso, muchas «retroconexiones» con las áreas primarias y secundarias, que parecen revestir particular interés para el afloramiento de la consciencia en las áreas asociativas. Por término medio, las neuronas de las áreas asociativas responden a los estímulos aferentes de forma más compleja que las células de las áreas sensoriales. Con frecuencia reaccionan ante diversos tipos de estímulos sensoriales, es decir, trabajan de un modo sumamente integrado Sabemos que determinadas neuronas de las áreas de transición entre los lóbulos temporal, parietal y occipital reaccionan ante estímulos visuales y auditivos, visuales y táctiles, o visuales, auditivos y táctiles.

Al propio tiempo, la corteza asociativa tiene una mayor relación con el sistema hipocámpico (el organizador de la memoria cognitiva) y con el sistema límbico, con la amígdala en particular (organizadora y sede potencial de la memoria emocional). Se comprueba con notable claridad en la parte inferior del lóbulo temporal y en el lóbulo frontal: regiones corticales que desempeñan una función importante en la consciencia. Los sistemas neuromoduladores ejercen aquí una influencia mucho mayor que en las áreas sensoriales y motoras. En breve, la consciencia surge allí donde los sistemas cortical y límbico, y con ello las percepciones, cogniciones y sensaciones, se convierten en el sustrato de nuestra actuación.

Para que se dé la consciencia se requiere que cada una de las aproximadamente 50.000 millones de neuronas de la corteza cerebral se relacione con 1000 o 10.000 neuronas más. Por consiguiente, los aproximadamente 500 billones de conexiones internas en el seno de la corteza cerebral superan, en varios millones de veces, el número de vías aferentes y eferentes. De ello se desprende que, si bien la corteza cerebral se halla en conexión con el resto del cerebro y, a través de los órganos de los sentidos y del aparato motor, con el cuerpo y con el medio en que se encuentra, está fundamentalmente en contacto consigo misma.

Excitación sincrónica

Las ciencias neurológicas pueden mostrar, al menos en parte, qué funciones cumplen los distintos estados de consciencia y en qué condiciones físicas, químicas, anatómicas y fisiológicas surge la consciencia en el cerebro humano. Ni que decir tiene que eso no explica, en sentido estricto, la naturaleza física o fisiológica de la consciencia. ¿Ha de entenderse la consciencia, según se suponía en el siglo XIX, como una especie de sustancia segregada por las neuronas cerebrales, a la manera en que el hígado segrega la bilis? Debe excluirse dicha posibilidad; de existir una sustancia tal, se habría descubierto; además, la mera existencia tampoco nos aclararía mucho. Para la aparición de la consciencia hemos de indagar estados dinámicos.

A este respecto, un buen candidato provendría de las sincronizaciones entre los miles de millones de neuronas corticales con billones de sinapsis, bajo la influencia de la formación reticular, el tálamo, el hipocampo y el sistema límbico. A favor de ello habla la mencionada cantidad astronómica de conexiones internas en las áreas asociativas de la corteza. De estos dispositivos podrían dimanar la autoconsciencia y otras propiedades «emergentes». Sobre una base así podemos suponer cuándo y en qué circunstancias se presentan los estados de consciencia; podemos al menos intentar también una explicación de la singularidad de la consciencia: por qué nadie puede experimentar la consciencia de otra persona.

Nos instalamos, pues, en una variante de la teoría de la identidad abordada en el trabajo de Michael Pauen. De acuerdo con la misma, los estados de consciencia se identifican con determinados estados funcionales de los sistemas neuronales. No afirmamos con ello ni que estemos ya en condiciones de explicar las bases fisiológicas de la consciencia ni que podamos deducir, ni siquiera por aproximación, las «leyes de la mente» a partir de los procesos nerviosos.

En el campo de la física se comprueba por doquier que, a partir de cierto nivel de complejidad, aparecen propiedades que se rigen por leyes propias, no deducibles de los procesos que se dan en niveles inferiores. Para explicar las nuevas propiedades se requieren «leyes-puente». Se trata de normas que no entran en contradicción con las leyes generales de la naturaleza, lo que, por lo que sabemos, se cumple en los estados de consciencia. Por muy especiales que sean, la mente y la consciencia no sobrepasan los límites de las leyes naturales y hallan explicación en su seno. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 1

PARA SABER MÁS

Neural correlates of consciousness. Dirigido por T. Metzinger. MIT Press, Cambridge, 2000.

Brain evolution and cognition. Dirigido por G. Roth y M. F. Wullimann. Wiley, Nueva York y Spektrum Akademischer Verlag, 2000.

Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert. G. Roth. Suhrkamp, Frankfurt, 2001.

HISTORIA Considerado, por su influjo, el Darwin del siglo xx, Francis Crick, codescubridor con James Watson de la estructura helicoidal del ADN, se propuso resolver otro problema capital de la biología: dónde se aloja la sede cerebral de la mente consciente

Francis Crick y la sede de la consciencia

JOSÉ MARÍA VALDERAS

De la existencia de una estrecha relación entre cerebro y consciencia se percató ya el mismo Hipócrates. En el cerebro situaba el origen de nuestras alegrías y tristezas, de nuestro dolor y de nuestra pena. Desde entonces, se han venido sucediendo numerosas hipótesis, unas complementarias, otras contrapuestas, sobre la naturaleza real de esa vinculación. Sin duda, el esfuerzo más ambicioso en nuestro tiempo se lo debemos a Francis Crick y su modelo del claustro.

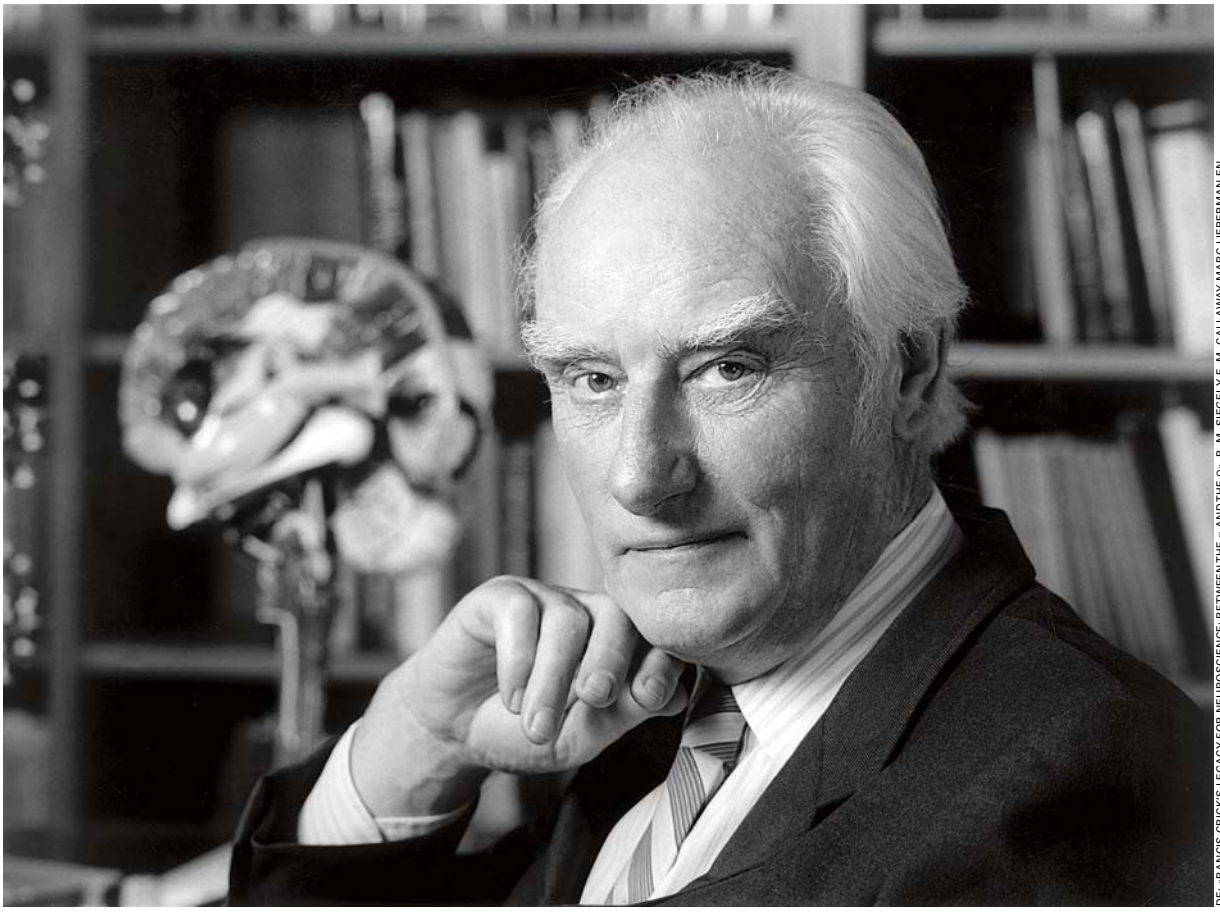
Francis Harry Compton Crick fue un eximio biólogo molecular. Junto con James Watson desentrañó la estructura en doble hélice del ADN en 1953. «Por sus descubrimientos relativos a la estructura molecular de los ácidos nucleicos y significación en la transferencia de información de la materia viva» recibió el premio Nobel de fisiología y medicina de 1962, compartido con Watson y Maurice Wilkins. Desempeñó un papel decisivo en el desciframiento del código genético y acuñó la expresión «dogma central» de la biología para resaltar la centralidad de la idea de que la información genética fluía en las

En síntesis: El claustro, pieza clave

1 Francis Crick, una de las figuras más emblemáticas de la biología del siglo xx, fue científico hasta el final. En 2004, horas antes de su muerte, daba los últimos retoques a un trabajo de revisión sobre el claustro y la consciencia.

2 Recibió el premio Nobel de fisiología y medicina de 1962, compartido con James Watson y Maurice Wilkins, por sus descubrimientos relativos al ADN.

3 Consagró sus últimos 25 años de vida a la investigación de la consciencia. Su punto de apoyo y modelo era estrictamente anatómico: la consciencia se aloja en el claustro, sostenía.



DE: «FRANCIS CRICK'S LEGACY FOR NEUROSCIENCE: BETWEEN THE α AND THE Ω», R. M. SIEGELY E. M. CALLAWAY MARC LIEBERMAN EN *PLOS BIOLOGY*, 14 DE DICIEMBRE DE 2004, PUBLICADO EN LÍNEA; FOTOGRAFÍA DE MARC LIEBERMAN / CREATIVE COMMONS CC BY 2.5

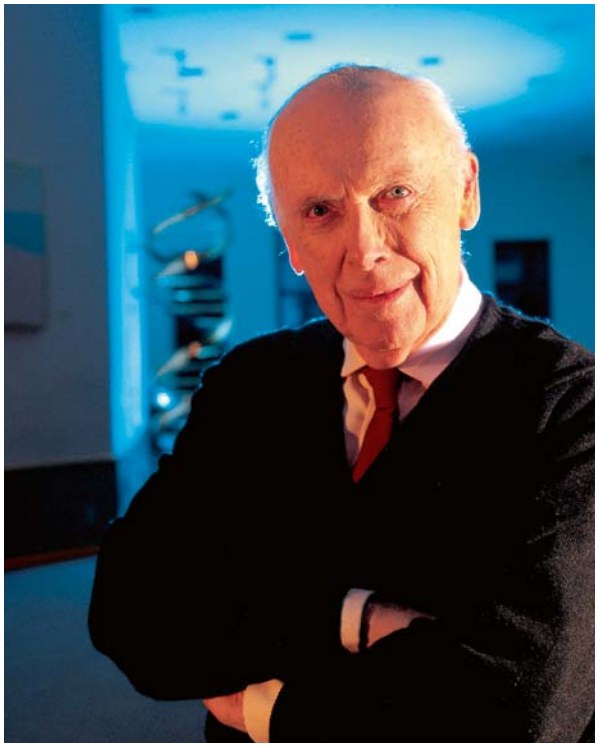
Francis H. C. Crick (1916-2004), biólogo teórico y premio nóbel por el descubrimiento de la estructura del ADN, tomó el conocimiento de la percepción visual como punto de arranque en su estudio de la consciencia. Crick se mostraba contrario a la explicación del cerebro como una suerte de ordenador.

células en una dirección, del ADN al ARN, y de este a las proteínas. Menos conocida fue su otra gran pasión, a la que dedicó el último tercio de su vida: la neurociencia; la consciencia, en particular.

Crick nació el 8 de junio de 1916 en Weston Favell, población cercana a Northampton. De niño dio muestras de una curiosidad insaciable. Su abuelo paterno, Walter Drawbridge Crick, naturalista y autor de una revisión de los foraminíferos, mantuvo correspondencia con Charles Darwin. En su imaginación infantil, Crick temía, a los diez años, llegar tarde a la ciencia, cuando ya no quedara nada por descubrir. «No te preocupes, Ducky [apelativo familiar de Francis], quedan muchas cosas que te están esperando», le consolaba su madre. Se divertía aprendiendo a soplar vidrio, fabricando seda artificial y preparando impresiones fotográficas. A los 14 años se trasladó al Colegio Mill Hill de Londres, donde estudió matemática, física y química. Recibió un premio de química en 1933, que atribuyó a la calidad de la enseñanza impartida en ese centro. Pero su falta de preparación en latín le cerró las puertas de Cambridge. En 1937 se graduó en física y en matemática en el Colegio Universitario de Londres.

Comenzó su proyecto de tesis doctoral sobre medición de la viscosidad del agua a temperaturas elevadas en el laboratorio de Edward Neville da Costa Andrade. Sus investigaciones iniciales quedaron interrumpidas en 1939, al estallar la Segunda Guerra Mundial. Llamado a filas, fue destinado al Laboratorio de Investigación del Almirantazgo, donde se ocupó del desarrollo de minas, magnéticas y acústicas. Terminada la guerra, pensó dedicarse a la ciencia básica. Algunos amigos le vieron un futuro más halagüeño en el periodismo científico. George Krisel, distinguido lógico matemático, en cambio, le animó, a su manera: «He conocido un montón de gente mucho más estúpida que tú que ha tenido éxito en ciencia». «Espoleado por ese consejo», comentará Crick más tarde, «mi problema era decidir el campo». Aun cuando entonces se sentía ya fascinado por la neurología y la biología molecular, optó por la segunda. Contaba 30 años.

Por consejo del nóbel Archibald Vivian Hill, se trasladó a Cambridge para trabajar con Arthur Hughes y estudiar el citoplasma de fibroblastos de pollo en cultivos de tejidos. Pese a no resultarle atractivo semejante pro-



COLD SPRING HARBOR LABORATORY / DOMINIO PÚBLICO

En 1953, James Watson (*arriba*) resolvió, junto con Francis Crick, la estructura espiral de la molécula de ADN, hallazgo que les reportó en 1962 el premio Nobel de fisiología o medicina.

yecto, fue objeto de sus dos primeros escritos publicados. Y lo que revestía mayor importancia: durante ese período, Crick comenzó a fraguar sus propias ideas sobre la estructura molecular de genes. Especulaba que, al menos en parte, podrían estar constituidos por ADN e intervenir en la dirección de la síntesis proteica.

En 1949 entró en la Unidad de Investigación Médica de Cambridge, adscrita al laboratorio Cavendish de física, para estudiar la estructura de las proteínas mediante aplicación de cristalografía de rayos X. La unidad, liderada por Max Perutz, dependía de sir Lawrence Bragg, físico brillante galardonado con el premio Nobel, que en 1913 había desarrollado la ley de difracción de rayos X. Crick quedó adscrito al equipo de Perutz, del que formaban parte John Kendrew, Watson y H. E. Huxley. Más tarde, recalaría allí Sydney Brenner. (Se ha señalado que ese grupo ejerció en biología molecular una influencia pareja a la de Rutherford y su equipo en física de partículas de los años treinta.) El método cristalográfico facilitaba el examen de la estructura de los biopolímeros. En 1938, Lawrence Bragg sucedió a Ernest Rutherford como catedrático de la Universidad de Cambridge y director del Laboratorio Cavendish. Dejada ya atrás la contienda bélica y sus inmediatas secuelas, animó a sus discípulos Perutz y Kendrew en la dificilísima determinación de las proteínas hemoglobina y mioglobina mediante cristalografía de rayos X. Bragg apoyaría luego el trabajo cristalográfico de Crick y Watson sobre la estructura del ADN.

El primero acostumbraba a abordar una teoría mediante la combinación de imágenes y rigor lógico, posponiendo para más tarde el proceso algebraico. Dio su primera conferencia sobre cristalografía, titulada *What mad pursuit* («Qué loco propósito») ante expertos en cristalografía, incluido Bragg, fundador de esta. Sugería que, de acuerdo con su análisis, únicamente uno de los métodos que secundaban tenía posibilidad de éxito: la sustitución isomorfa. Las manchas radiográficas de rayos X representaban solo el espectro de amplitud de Fourier; la fase se perdía. El quid del interés de la sustitución isomórfica estribaba en recuperar información de la fase mediante la sustitución de moléculas de agua por metales pesados, sin alterar la forma de los grandes polímeros (como las proteínas, por ejemplo). La predicción de Crick resultó ser correcta.

A propósito de los componentes fundamentales de la vida, era sabido que los enlaces covalentes de las biomoléculas aportaban estabilidad estructural, necesaria para mantener la información genética en las células. Pero había que acotar de qué tipo de molécula había que hablar. Todo apuntaba hacia una macromolécula, en particular, una proteína. En los años cuarenta, se obtuvieron pruebas que señalaban el ADN como posible candidato genético. Se trataba de otra macromolécula también componente esencial de los cromosomas.

La cristalografía de rayos X ofrecía, en principio, la oportunidad de revelar la estructura de proteínas y ADN. Crick comenzó a profundizar en la teoría matemática de la cristalografía de rayos X. Conoció la importancia de la rigidez estructural que los dobles enlaces confieren a las estructuras moleculares.

Watson llegó a Cambridge en 1951, con 23 años y un doctorado, para empezar a trabajar con Kendrew en la cristalización de la mioglobina. En ese mismo año, junto con William Cochram y Vladimir Vand, Crick colaboró en el desarrollo de una teoría matemática de la difracción de rayos X por una molécula helicoidal. Crick y Watson compartían la idea de que los genes escondían el secreto de la función proteica y de que la solución de la estructura del ADN consistiría en sacar a la luz el modo en que las proteínas obtenían su forma funcional. Al propio tiempo, Maurice Wilkins y Rosalind Franklin, del King's

EL AUTOR

José María Valderas es doctor en filosofía y fundador de *Mente y Cerebro.*

Crick creía que, en biología, la estructura era el camino natural para comprender la función

College de Londres, se esforzaban en resolver la estructura con fotografías de difracción de rayos X de fibras de ADN. Tras varios modelos infructuosos, Watson y Crick se aprovecharon del trabajo de Franklin y Raymond Gosling (la famosa «Photo 51»). Se sospecha, con controvertido fundamento, que Watson y Crick accedieron a los resultados de Franklin sin el conocimiento o permiso de esta, y antes de que la investigadora pudiera publicar formalmente los resultados de su análisis detallado de los datos de difracción de rayos X.

El modelo que idearon Crick y Watson de la estructura helicoidal del ADN se publicó en *Nature* el 25 de abril de 1953. El escrito terminaba con el aserto legendario de Crick: «No se nos escapa que el emparejamiento específico que hemos postulado sugiere de inmediato la posibilidad de que se trate de un mecanismo posible de copia para el material genético». Semanas más tarde firmaron otro artículo en la misma revista, donde proponían un mecanismo para la replicación del ADN. Crick y el biólogo Sydney Brenner descubrieron en 1961 el código del triplete genético para los aminoácidos.

El período de Crick en Cambridge duró 30 años y alcanzó el pináculo de su larga carrera científica. Con algún revés. En 1958, había solicitado una cátedra de genética allí, que se le negó. Un secreto que fue descubierto por Soraya De Chadarevian en su libro *Designs for life: Molecular biology after World War II*. En 1976, se tomó un año sabático para trabajar en el Instituto Salk de Estudios Biológicos en La Jolla, California. Ya no volvió a Cambridge. Fue nombrado titular de la cátedra Kieckhefer. Se propuso entonces resolver otro problema capital de la biología: la sede cerebral de la mente consciente.

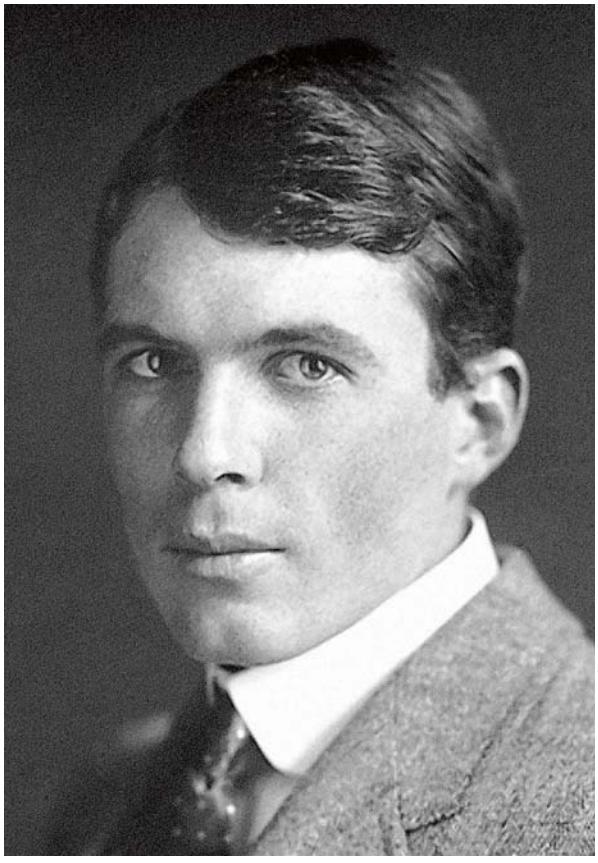
Pasión científica

Crick creía que, en biología, la estructura era el camino natural para comprender la función. Eso valía también para el estudio de la consciencia. Empezó por sumergirse en los fundamentos de neuroanatomía, neurofisiología, neuroquímica y neurofisiología. Sin dejar de estar al día sobre los nuevos avances que se iban produciendo en biología molecular, incluidos el hallazgo de un empalme nucleotídico alternativo y el de las enzimas de restricción, que apuntalaban la creación de una ingeniería genética. Pero Crick consagró sus últimos 25 años al desciframiento de la consciencia, convirtiendo en objeto de investigación científica básica lo que hasta entonces parecía más propio del ámbito filosófico. Su punto de apoyo y modelo era estrictamente anatómico. ¿Dónde se alojaba la consciencia? En el claustro, respondió, porque presenta una extensa conectividad recíproca con la corteza.

En sus primeras aproximaciones a los correlatos neurales de la consciencia quedó fascinado ante la aparición y desaparición de pautas durante una inspección prolongada de los estímulos visuales de las figuras de rompecabezas. Sabía espigar el trigo de la paja, discernir lo que era importante, lo que faltaba por saber y qué tipo de cuestiones había que despejar para entender la percepción consciente. En uno de sus primeros escritos sobre neurociencia, un comentario acerca de la función del sueño REM, publicado en *Nature* en 1983, junto con Graeme Mitchison, proponía: «soñamos para olvidar». El sueño de movimiento rápido del ojo, un período caracterizado por rápidos pulsos de movimiento ocular, coincide con períodos de ensoñación, durante los cuales la corteza se halla intensamente estimulada por el tallo cerebral.

En su opinión, la estimulación no específica por el tallo cerebral tiende a excitar asociaciones neuronales

La figura de William Lawrence Bragg (1890-1971) fue determinante en la carrera científica de Francis Crick. Este físico brillante desarrolló en 1913 la ley de difracción de rayos X. Bragg apoyó el trabajo cristalográfico de Crick y Watson sobre la estructura del ADN.



FUNDACIÓN NOBEL / DOMINIO PÚBLICO

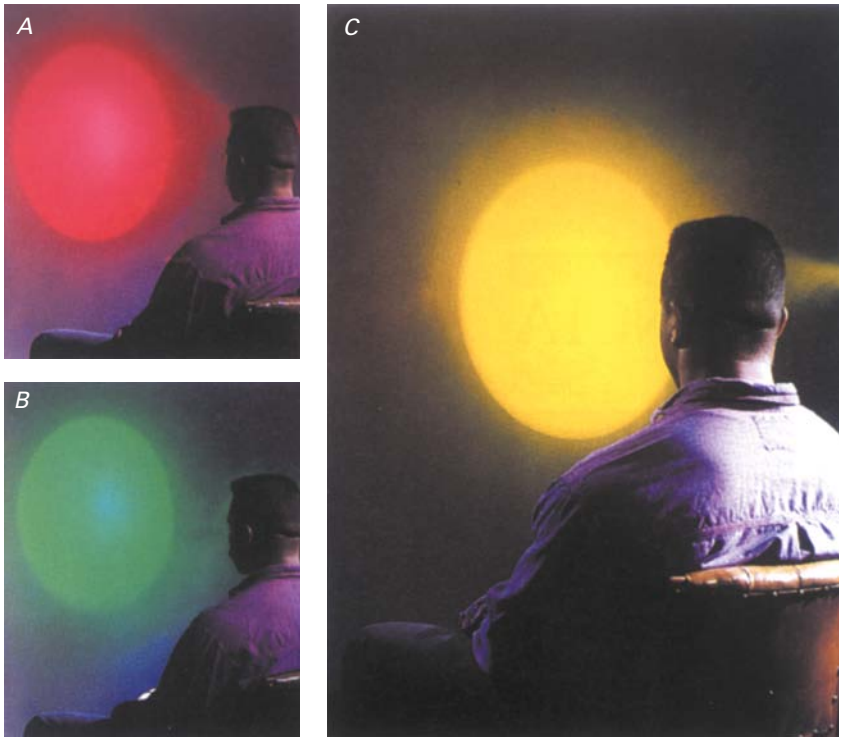
corticales que son proclives a quedar inactivas por un ruido aleatorio y no por la entrada estructurada de información sensorial. Tales pautas aleatorias de activación tienden a debilitar las conexiones sinápticas, que podrían extinguir pensamientos y asociaciones esporádicas cuyo almacenamiento no sirve para nada. Ese modelo sencillo arrancaba de un supuesto plausible: existen redes neurales asociativas en la corteza. La hipótesis explicaba la desactivación del aprendizaje que podría requerirse en el cerebro adulto. Lo denominaron aprendizaje inverso.

Un año después, Crick abordó la función del complejo talámico reticular, a propósito de la hipótesis sobre la atención avanzada en 1982 por Anne Treisman y Hilary Schmidt, por entonces ambas en la Universidad de la Columbia Británica. La teoría de la integración de rasgos, a la que Crick denominó *searchlight hypothesis* («hipótesis de la búsqueda»), designa el fenómeno de la atención selectiva de un área visual en un momento determinado dentro de un espacio visual mayor con el fin de identificar un objetivo entre elementos de distracción. Debe el nombre a la iluminación artificial con un foco de un área en penumbra: el panorama no se encuentra totalmente a oscuras, pero la luz se intensifica en el área enfocada.

Crick defendía que la hipótesis de la atención selectiva se hallaba sujeta al control del complejo reticular del tálamo, incluido el núcleo perigeniculado, estrechamente asociado. La expresión de ese tipo de atención sería la producción de pulsos rápidos de excitación en un subconjunto de neuronas del tálamo. Afirmaba, además, que las conjunciones producidas por la atención selectiva estaban mediadas por sinapsis rápidamente mutables conocidas por «sinapsis de Malsburg», en particular, por pulsos rápidos que actuaban sobre estas. Para Crick, la activación de las sinapsis de Malsburg desencadenaba la formación de asociaciones transitorias de células, incluidas las verticales que congregan de manera temporal neuronas en diferentes niveles de la jerarquía neural.

La información visual y auditiva pasa a través del tálamo antes de ser procesada por la corteza cerebral. En la visión, se crea un circuito talámico canónico que abarca el núcleo geniculado lateral (NGL), el núcleo talámico reticular (NTR) y de la corteza visual primaria (V1). Las células de relé del núcleo geniculado lateral se proyectan hacia la corteza estriada; en su camino hacia la corteza, emiten colaterales en el interior del núcleo talámico reticular. Luego, la corteza retroenvía una proyección hacia el NGL, que aporta también colaterales en el NTR. Puesto que la activación de pulsos de bajo umbral requiere la remoción de inactivación por hiperpolarización de la membrana, Crick consideraba ideal al NTR para aportar la inhibición necesaria en la modulación de las respuestas de las células del NGL durante el proceso de atención.

La hipótesis de Crick se basaba, en buena medida, en la especificidad espacial de las entradas sinápticas. Entendía que la actividad del núcleo talámico reticular terminaba por establecer una realimentación positiva, organizada espacialmente. Debido a la disposición topográfica de las entradas en el circuito tálamo-cortical, una sección activa de la corteza podría estimular regiones espaciales similares del NTR y del NGL, con lo que producía las asociaciones verticales. Para Crick, el NTR



JASON GOLTZ

Como Francis Crick y Christof Koch explicaban en su artículo «El problema de la consciencia», publicado en *Investigación y Ciencia* en 1992, la consciencia puede abordarse a través del estudio del sistema visual. En uno de los experimentos se observa que breves destellos cromáticos permiten deducir el tiempo que se requiere para que acontezca la consciencia visual. Durante 20 milésimas de segundo se proyecta ante el sujeto un disco de luz roja (*A*), justo después otro de color verde (*B*), también por ese corto espacio de tiempo. El observador afirma que ve una luz amarilla (*C*): no percibe que la luz roja aparece antes que la verde hasta que la duración de las proyecciones se amplía de 60 a 70 milésimas de segundo.

podría intensificar su actividad mediante la producción de pulsos rápidos de excitación dentro de un subconjunto neuronal talámico y el silencio de las neuronas permanentes. Según señalaba, la ejecución de la selección se enlentece en la medida en que aumenta el número de objetos que nos distraen, como si nuestra búsqueda fuera secuencial al trasladar la atención de un lugar del espacio a otro siguiente. En su opinión, el núcleo reticular podía intensificar la actividad de regiones excitadas y, posteriormente, amortiguar la excitación de partes inactivas, lo que potenciaría la ejecución de una manera espacialmente selectiva.

En 1990, Crick escribió con quien sería en adelante su principal colaborador, Christof Koch, en la actualidad profesor en el Instituto de Tecnología de California, un artículo programático sobre una teoría neurobiológica de la consciencia. Se concentraron en la consciencia visual, de fácil acceso neurobiológico. Esta se presenta en dos formas. Una, muy rápida, que se halla unida a la memoria icónica; puede resultar muy difícil de estudiar. La otra, más lenta, implica atención visual y memoria a corto plazo. Existe en la segunda forma de consciencia visual un mecanismo de atención que pone en conexión todas aquellas neuronas cuya actividad tiene que ver con los aspectos relevantes de un objeto visual determinado. Crick y Koch lo atribuyeron a la generación de oscilaciones semisíncronas, coherentes, probablemente en el rango de 40 a 70 hercios.

Esas oscilaciones activan una memoria operativa a corto plazo, transitoria. Por tesis fundamental declararon que la consciencia depende, sobre todo, de una memoria a corto plazo y un mecanismo de atención en serie. Este último ayuda a la excitación, semioscilatoria y coherente, de conjuntos de neuronas implicadas. De este modo, la consciencia puede ser causada por la actividad eléctrica de muchas neuronas que oscilan juntas. (Podríamos objetarles que se trata de una mera hipótesis, pues en verdad no constituye una explicación genuina de la consciencia, porque no dice de qué modo las oscilaciones eléctricas la crean. Ese es el quid de la cuestión.)

Por aquel entonces, la neurociencia cognitiva orillaba cualquier referencia a la consciencia. Cuando menos, los investigadores no querían enfrentarse a un tema que parecía inasible: la interpretación neurológica de la mente. Una actitud heredada del conductismo y fundada en parte en el reconocimiento de la carencia de un marco científico adecuado. Crick y Koch opinaban, por el contrario, que había llegado el momento de acometer el estudio de las bases neurales de la consciencia. Más aún, sostenían que, a largo plazo, el problema que planteaba su conocimiento solo encontraría solución en las investigaciones neurológicas. No obstante, los argumentos de tipo cognitivo, importantes, sin duda, no bastarán para armar una explicación convincente de la consciencia.

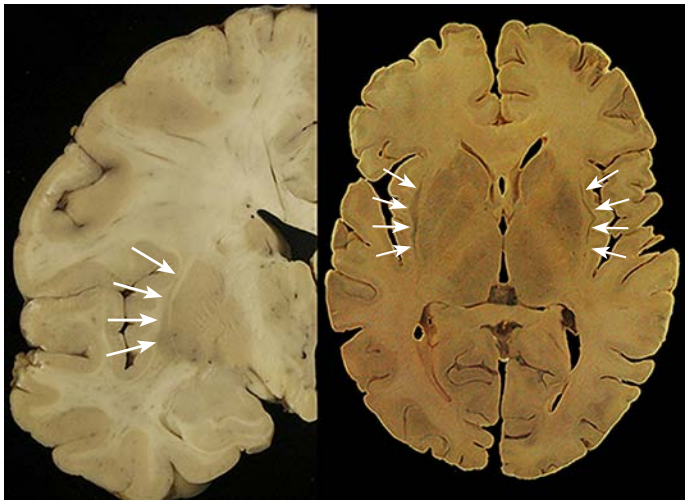
En un artículo publicado en 1998 en *Cerebral Cortex*, Crick y Koch convirtieron el tema en una cuestión importante para la experimentación. Desde el comienzo introdujeron la idea de correlato neural de la consciencia (CNC). Para ambos investigadores, el correlato neural de la consciencia visual debía constituir una explicación explícita y de multinivel de la escena visual. Por un lado, el CNC debía ser referencia de los rasgos de la escena visual de la que somos conscientes mediante la potenciación sincrónica de la excitación de las neuronas que representan los rasgos en cuestión. En segundo lugar, en él intervenían varios niveles de procesamiento en la jerarquía de las áreas visuales corticales. Se requería también que mediase una estrecha correlación entre aspectos de la escena visual y la actividad neural que los representa.

El claustro ocupa una posición ideal para integrar información subyacente a nuestra percepción y acción conscientes

Las neuronas directamente implicadas en el correlato neural de la consciencia han de tener una combinación exclusiva de propiedades moleculares, farmacológicas, biofísicas y anatómicas. Empezaron por centrarse en el sistema de la visión, uno de los mejor conocidos y fácil de parametrizar en primates no humanos. Daban por supuesto que el cerebro elige siempre la vía apropiada más rápida a su alcance. Introdujeron también la hipótesis del área V1: la actividad en dicha área podía ser necesaria para una consciencia visual. Crick sostenía que las células piramidales de la capa 5 de las áreas visuales corticales desempeñaban un papel crítico en el CNC. Los investigadores propusieron que las neuronas de V1 no participaban de manera directa en el CNC de la consciencia visual, pese a aportar buena parte de la información que se procesa en las áreas visuales descendentes.

Entendían que los mamíferos superiores, no los organismos inferiores, poseían consciencia, pese a carecer de lenguaje. En otras palabras: no veían necesario el lenguaje para la consciencia. Desde una óptica evolutiva, sugerían que esta había surgido para potenciar la eficiencia. En cambio, negaban valor a la autoconsciencia.

En otro artículo, aparecido en *Nature Neuroscience* en 2003, avanzaron un paso más: establecieron un esquema coherente de los correlatos neurales de la consciencia visual en términos de asociaciones celulares. Propusieron que el foco para abordar el «problema duro» de los qualia debería centrarse en el descubrimiento de correlatos neurales de la consciencia en términos causales, es decir, hallar un conjunto mínimo de episodios neuronales que diesen origen a un aspecto específico de un percepto consciente. Advirtieron también que la consciencia era, en buena medida, privada: es imposible trasladar la ex-



DE: «A CASE STUDY IN CONNECTOMICS: THE HISTORY, MAPPING, AND CONNECTIVITY OF THE CLAUSTRUM». C. M. TORGERSON Y J. D. VAN HORN EN *FRONTIERS IN NEUROINFORMATICS*, NOVIEMBRE DE 2014 / CREATIVE COMMONS (CC BY 4.0)

A la izquierda aparece la anatómica axial del claustro (*flechas*). A la derecha se puede ver la anatómica coronal del cuerpo claustral (*flechas*) del hemisferio izquierdo en un tejido humano post mórtem.

periencia consciente de uno a otro. Recluidos en la actividad neural relacionada con una modalidad sensorial específica (el sistema visual), dejaron de lado emociones y autoconsciencia.

El correlato neural de la consciencia, indicaban, debía implicar una actividad cooperadora, mediada por sinapsis eléctricas y químicas, entre neuronas del prosencéfalo que respondían a aspectos diversos de una misma experiencia consciente. En el caso de la visión, ello significa la existencia de una actividad correlativa entre diferentes representaciones neuronales que cifran aspectos diversos de un mismo objeto o acontecimiento. Esa actividad adquiere la forma de coaliciones activas de neuronas de la corteza, el tálamo y otras estructuras afines.

Modelo anatómico

Todos los neurocientíficos conocen la existencia del claustro. Otra cosa es determinar su función. Santiago Ramón y Cajal se refirió a él en varias ocasiones a lo largo de su *Histología del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados*. Se trata de una estructura pequeña; en el macaco, su volumen es del 1 por ciento del que ocupa su corteza cerebral. Crick la describió brevemente en un libro publicado en 1994. Durante un tiempo, lo dejaron de lado, al no percibir que cumpliera una función clara.

El claustro constituye una masa nuclear telencefálica subcortical y palial, presente en todos los mamíferos euterios y metaterios. De la observación de su morfología se infieren dos partes. Por un lado, el claustro dorsal o insular, segmento que integran las neuronas que se alojan encima de la fisura rinal, medial a la corteza insular. Por otro, el claustro ventral o piriforme, porción que constituye el grupo de neuronas situado por debajo de la fisura rinal, medial a la corteza piriforme (se conoce también como núcleo endopiriforme). De hecho, hoy se tiende a llamar núcleo endopiriforme al claustro ventral, reservando el término *claustro* para la parte dorsal o insular de dicha estructura. El conjunto consta de neuronas de proyección glutamatérgicas e interneuronas locales que coexpresan proteínas de enlace de calcio.

El claustro presenta, asimismo, dos subpoblaciones de neuronas: las de proyección y las interneuronas. Se distinguen las primeras por un pericarión polimórfico y dendritas espinosas; las segundas, por un soma oval o redondo y dendritas sin espinas. La mayoría de las neuronas del claustro y del núcleo endopiriforme son glutamatérgicas de proyección. Existe una pequeña proporción de neuronas de proyección que expresa sintasa de óxido nítrico. Las interneuronas coexpresan proteínas de enlace de calcio.

Para Crick, un aspecto muy importante de la consciencia, y no entendido bien del todo todavía, estribaba en su función de integración, vale decir, su capacidad para combinar características diferentes de solo un sentido (la visión, por ejemplo) o de distintos sentidos (visión y audición). Meses antes de su muerte resolvió que esa propiedad de la consciencia podía aportarla el claustro. Crick moría el 28 de julio de ese año. Horas antes de su fallecimiento estuvo repasando con Koch un trabajo de revisión que concedía al claustro la sede de la consciencia. Según afirmaba, esta región cerebral constituía la estructura estratégica que recibía información de todos los rincones de la corteza y la devolvía a las áreas pertinentes.

Apoyándose en su pauta de conexiones, Crick tenía el firme convencimiento de que se trataba de la estructura central de la consciencia. Si el claustro quedaba bilateralmente destruido, el paciente podía seguir advirtiendo impresiones sensoriales aisladas (por ejemplo, el color rojo), pero dejaba de ser capaz de asociar percepciones (el color rojo a la forma de una barra horizontal o la imagen de una locomotora con su silbido). En 2004 había madurado su hipótesis sobre esa estructura, hasta convertirla en obsesión. Su ensayo póstumo *What is the function of the claustrum?* («¿Cuál es la función del claustro?») ha resultado determinante para la investigación posterior.

Propiedad crucial de las sensaciones conscientes, afirman en ese artículo, es la naturaleza integradora de las mismas. No nos percatamos de perceptos aislados, sino que tenemos una experiencia única y unificadora. Cuando cortamos una rosa, olemos su fragancia, observamos sus pétalos rojos y sentimos el tacto del pecíolo o el tallo con los dedos. Toman la expresión de John R. Searle y denominan a esa integración «campo consciente». El claustro ocupa una posición ideal para integrar

tipos de información, por dispares que sean, subyacentes a nuestra percepción, cognición y acción conscientes.

En su exposición de la neuroanatomía del claustro, de arquitectura celular bastante uniforme y presente en todos los mamíferos estudiados hasta entonces, atienden de preferencia al gato y los primates. Resaltan que existe una tendencia general de todas las áreas corticales a conectarse con el área del claustro que les sea más cercana. Si se admite, como sugieren, que las ondas de información pueden viajar hasta el interior del claustro, entonces las neuronas podrían ser muy sensibles a la temporización de la información entrante, afianzando así la función del claustro: fundir aspectos diversos en un solo percepto que se experimenta en un instante temporal determinado.

Las células principales del claustro se proyectan hacia la corteza del mismo lado (a muchas partes, por lo común) y algunas neuronas lo hacen hacia la corteza contralateral. A su vez, la mayoría de las regiones corticales envían proyecciones hacia el claustro (hacia numerosas partes de este). No se sabe que exista una región cortical que no reciba información procedente del claustro. Ocurre, sin embargo, que existen excepciones a la regla general de la reciprocidad de las proyecciones del claustro a la corteza. Crick y Koch mencionaron la ausencia de proyecciones de la corteza visual primaria al claustro, cuando, por el contrario, se había ratificado la existencia de proyecciones del claustro a V1.

En las investigaciones fisiológicas del claustro, como en el caso de cualquier otra estructura cerebral, se parte de lesiones inducidas, registros de neuronas individuales y estudios de estimulación (en animales), así como de observaciones clínicas y resultados de la aplicación de técnicas de neuroimagen (en humanos). No es fácil inactivar el claustro por vía farmacológica o ablación quirúrgica. Conseguirlo de forma selectiva y controlada, sin afectar a fibras de paso o regiones adyacentes, exigiría una destreza singular, que podría paliarse si se dispusiera de técnicas genéticas adecuadas que permitieran silenciar la expresión de determinados genes en esa estructura cerebral, para luego observar qué acontece en los animales privados de ella. Sería de gran ayuda identificar humanos nacidos sin claustro.

Su intrincada conectividad plantea la cuestión de si no se trata de un teatro cartesiano, un centro de convergencia de la mente y el cerebro, fruto de la cual resultaría la consciencia. Más que de esa metáfora que alude al papel de la glándula pineal en la filosofía de Descartes, Crick y Koch eran partidarios de otra analogía: la del director de orquesta, cuyos maestros intérpretes serían las diversas regiones corticales. Sin esa batuta, la orquesta puede seguir tocando, pero irá cayéndose cada vez más en falta de sincronía, para terminar con una cacofonía de sonidos. La comparación evoca los diferentes atributos de los objetos, dentro de modalidades (tales como color y movimiento) y a través de modalidades (forma visual y ubicación del sonido), que se combinan y entrelazan rápidamente en el claustro. Sin esa estructura (y su gemelar en el otro hemisferio), el sujeto podría responder a estímulos individuales, aislados o familiares, pero no sabría hacerlo ante estímulos complejos o raros.

Objetos y fenómenos del mundo real presentan a un mismo tiempo numerosos atributos: color, forma, distancia, velocidad, aroma, sonido, etcétera. Si faltan ambos claustros, esos atributos no podrían experimentarse de forma integrada, exponían Crick y Koch. Según estos, el sujeto no podría percatarse de los objetos y fenómenos o solo sería consciente de un atributo.

Parece claro que el claustro se encuentra en la encrucijada de numerosos bucles individuales con origen y destino en la corteza. Dicho de otro modo, nos encontramos ante una amplia y recíproca conectividad con la inmensa mayoría de las regiones corticales. ¿A qué se debe que toda la información se concentre allí? De acuerdo con la metodología habitual de Crick, si el claustro resulta determinante para cruzar y conjugar información de modalidades sensoriales y motoras, deben satisfacerse determinadas exigencias anatómicas.

En definitiva, el claustro puede contener mecanismos especializados que permitan el trasiego de información para sincronizar modalidades cognitivas, perceptivas y motoras diferentes. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 74

PARA SABER MÁS

Qué loco propósito: Una visión personal del descubrimiento científico. F. C. Crick. Tusquets, 1989.

Towards a neurobiological theory of consciousness. F. H. C. Crick y C. Koch en *Seminars in the Neurosciences*, vol. 4, págs. 263-276, 1990.

Consciousness and neuroscience. F. H. C. Crick y C. Koch en *Cerebral Cortex*, vol. 8, págs. 97-107, 1998.

La búsqueda científica del alma. F. C. Crick. Debate, 2003.

A framework for consciousness. F. C. Crick y C. Koch en *Nature Neuroscience*, vol. 6, págs. 119-126, 2003.

Of molecules and men. F. C. Crick. Prometheus Books, 2004.

What is the function of the claustrum? F. C. Crick y C. Koch en *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 360, págs. 1271-1279, 2005.

EN NUESTRO ARCHIVO

Francis H. C. Crick: Mefistófeles de la neurobiología. John Horgan en *IyC*, mayo de 1992.

El problema de la consciencia. Francis H. C. Crick y Christoph Koch en *IyC*, noviembre de 1992.

El claustro: ¿puerta de la consciencia? Christof Koch en *MyC* n.º 71, 2015.

El claustro, director de la consciencia. Klaus Stiefel en *MyC* n.º 74, 2015.

NEUROBIOLOGÍA En la profundidad del cerebro se aloja el claustro, un área reducida y bien conectada, cuya función todavía se desconoce. Las experiencias alucinatorias de consumidores de droga respaldan la hipótesis de que dirige nuestra mente consciente

El claustro, director de la consciencia

KLAUS STIEFEL

Por la red neuronal se transmiten, de manera simultánea, información sensorial y recuerdos. ¿Qué dirige este concierto?

THINKSTOCK / JULIO VIARD (*manos con batuta*); THINKSTOCK / SVISIO (*neuronas*)

Julio de 2002. En la ciudad sudcaliforniana de La Jolla, a orillas del océano Pacífico, Francis Crick escribe un trabajo de investigación, el cual se convertirá en el último de su vida. Este premio nóbel de medicina de 1962 por el descubrimiento de la estructura en doble hélice de la molécula de la herencia, el ADN, se decantó a lo largo de su carrera profesional cada vez más por una materia de estudio diferente: el cerebro.

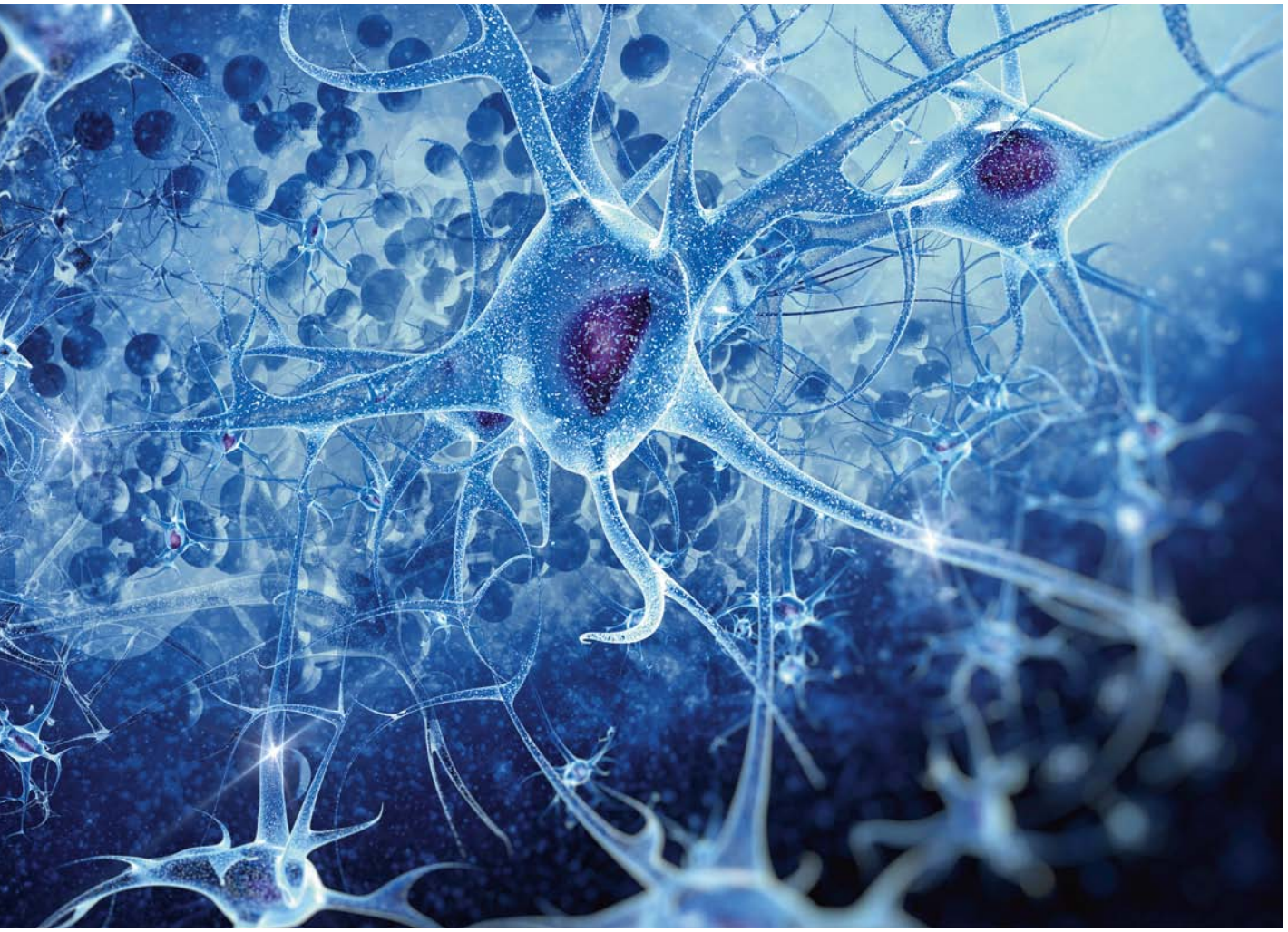
¿Cuál es la base biológica de la consciencia humana? ¿Qué sucede en el cerebro para que nos reconozcamos a nosotros mismos como un yo en interacción con el entorno a través de los sentidos? Estas cuestiones apasionaban a Crick. Finalmente lo condujeron hasta una región poco investigada que se halla en lo profundo de nuestra estructura cerebral: el claustro. Antes de proseguir debemos refrescar algunos conocimientos.

El cerebro humano contiene unos cien mil millones de neuronas conectadas entre sí. Muchas de estas células nerviosas se encuentran en áreas cerebrales que cumplen funciones importantes, aunque no relevantes para la consciencia. El tronco cerebral, por ejemplo, regula nuestra temperatura corporal. Se trata de una función indispensable para vivir, pero no somos conscientes del proceso.

Otras regiones cerebrales procesan informaciones de las que solo más tarde tomamos consciencia. En un principio, no somos conscientes de las señales nerviosas que emiten las neuronas de la retina, solo merced a la actividad de áreas superiores vemos la luz que incidió en la retina. Estas representaciones captadas a través de nuestros órganos de los sentidos suelen localizarse en la corteza cerebral.

Como primera aproximación a una posible respuesta ante las preguntas de Crick puede decirse que la consciencia depende de procesos corticales. No obstante, queda por saber si otras áreas cerebrales desempeñan, asimismo, un papel esencial.

¿Se puede investigar la consciencia desde un punto de vista biológico? ¿Es posible que, debido a su condición de experiencia subjetiva, escape a toda medida? Las vivencias mentales, en cuanto tales, no pueden ser captadas directamente por ningún instrumento de medición, aunque se pueden estudiar a partir de correlaciones, es



En síntesis: Función integradora

1 Las bases neurológicas de la consciencia siguen siendo unas grandes desconocidas. Mas, se sabe que a partir de diversos componentes procesados en distintos lugares del cerebro se forma un todo.

2 Es probable que el proceso integrador acontezca en el claustro, según la hipótesis aún vigente de Francis Crick y Christof Koch.

3 Los efectos estupefacientes de la planta *Salvia divinorum* afectan a la función del claustro. Este hallazgo habla a favor de la tesis de Crick y Koch.

decir, de relacionar la experiencia consciente de una persona con procesos neuronales accesibles a las modernas técnicas neurobiológicas de medición.

Percepción sensorial

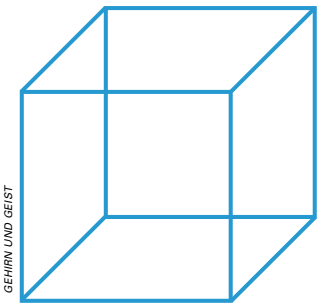
En uno de los experimentos, se invita a una persona a que mire fijamente un cubo de Necker durante varios minutos. Cada par de segundos, la perspectiva del sujeto cambia: unas veces percibe el cubo desde abajo y en diagonal desde la izquierda; otras, desde arriba y en posición oblicua desde la derecha. Sin que la realidad externa (el dibujo) se modifique lo más mínimo, en la mente del observador el contenido de la consciencia visual se transforma. Ya en el escáner, se le pide que pulse un botón cada vez que eso suceda. El electroencefalograma (EEG) revela la actividad eléctrica de su cerebro. Si el cambio en la percepción consciente coincide con una alteración en la actividad cerebral, puede hablarse de una correlación neuronal con la consciencia.

Michael Pitts y sus colaboradores del laboratorio de Steven Hillyard en la Universidad de California en San Diego llevaron a cabo un ensayo similar. Constataron una relación entre la percepción consciente y la actividad de diversas áreas corticales. En el ejemplo del cubo de Necker, todo apunta a que el cambio de percepción depende del lóbulo parietal. La visión del dado que se tiene en cada momento podría quedar representada en la transición entre el lóbulo occipital y el temporal.

Si bien están aumentando los hallazgos de correlaciones neuronales con la consciencia —la mayoría relacionadas con la corteza cerebral—, ello no resuelve el enigma de la psique humana. Continúa sin saberse por qué de entre el cúmulo de contenidos sensoriales y de recuerdos, uno de estos emerge en la consciencia en un momento determinado. Por regla general, lo que sucede ante nuestros ojos y oídos es mucho más complejo de lo que percibimos. Mientras escribo estas líneas, me encuentro sentado en un rincón sombreado de un jardín tropical. Ante mí se extiende un terreno de césped verde que limita con tres palmeras y una higuera cubierta de plantas trepadoras. Los pájaros cantan; a lo lejos se oye el ruido del tráfico. A la izquierda, en primer plano, sobre dos tocones, crecen orquídeas con flores de color rojo claro. Sin embargo, en este preciso momento, solo percibo la cara de mi interlocutor y su voz. A mi retina llega la luz reflejada por los árboles y las orquídeas y el resto de las ondas acústicas también alcanzan mis oídos. Pero ni las plantas, ni los pájaros, ni los coches arriban a mi consciencia. Un mecanismo cerebral filtra la mayoría de los estímulos sensoriales antes de que aterricen en la consciencia. Lo mismo podría decirse de los recuerdos. Entre las innumerables circunstancias y observaciones de las que podría acordarme, en aquel momento solo soy consciente de una.

Llegados a este punto cabe mencionar el denominado «problema asociativo». ¿Cómo coordina la corteza los diversos aspectos de la percepción? De la forma, del color y del aroma de las orquídeas se ocupan áreas diferentes del cerebro. ¿Cómo conforman estas representaciones mentales una unidad? ¿Existe una región cerebral encargada de coordinar toda la información?

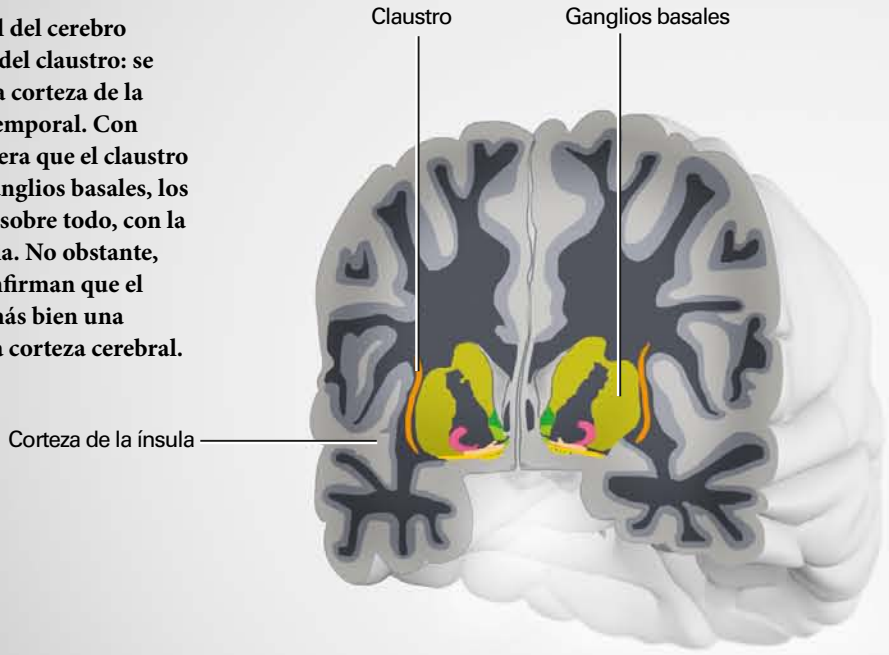
Esa pregunta ocupó en el verano de 2002 a Crick y a su colaborador Christof Koch, hoy director del Instituto Allen de Ciencias del Cerebro en Seattle. Basándose en sus amplios conocimientos de neuroanatomía, ambos sospecharon que la región que buscaban se llamaba claustro. El nombre de esta estructura plana, alojada en lo profundo del cerebro, por debajo de la ínsula, recuerda a una de las estancias de un convento medieval. Sobre todo resulta interesante el modo en que se halla conectada con la corteza cerebral. Las neuronas de partes extensas del claustro envían sus axones a la región cortical encargada de la visión (corteza visual). Desde allí, un gran número de axones parten de regreso al claustro. Esta estructura se conecta de manera similar con diversas áreas corticales responsables de otros sentidos. Si bien, en líneas generales, se puede relacionar cada sentido con una parte concreta del claustro, entre unas y otras existe



GEHIRN UND GEIST

El cubo de Necker consiste en una ilusión óptica en la que interpretamos un dibujo trazado en plano como tridimensional. No sabemos qué lado ocupa el primer plano y cuál se encuentra detrás. Nuestra percepción oscila entre dos perspectivas.

Este corte transversal del cerebro muestra la situación del claustro: se halla por debajo de la corteza de la ínsula, en el lóbulo temporal. Con frecuencia, se considera que el claustro forma parte de los ganglios basales, los cuales se relacionan, sobre todo, con la motricidad voluntaria. No obstante, diversos estudios confirman que el claustro constituye más bien una región separada de la corteza cerebral.



DIRK FISCHER

una gran interconexión. Algunas de las células disponen de axones ramificados, los cuales transmiten señales a diversas áreas corticales.

Un candidato perfecto

El gran número de conexiones convierten al claustro en un centro de coordinación ideal: las señales que proceden de los diversos órganos sensoriales se reúnen en ese sitio para sincronizarse. Crick y Koch plantearon dicho supuesto en un artículo que vería la luz en 2005, tres años tras el fallecimiento del premio nóbel. Para ambos autores, el claustro sería una suerte de director de orquesta de la consciencia. Su hipótesis todavía despierta interés dentro del mundo científico.

¿De qué modo puede comprobarse esa idea? ¿Cómo pueden encontrarse argumentos que no se apoyen solo en datos neuroanatómicos? Joan Baizer y sus colaboradores de la Universidad de Búfalo aportaron datos a través de un estudio comparativo de investigaciones realizadas en mamíferos como simios y ballenas. Según confirmaron, en el cerebro de estos animales no existe un claustro estructurado como en los humanos; solo poseen unos depósitos celulares aislados. Estas células, explican los investigadores, no presentan una conexión suficiente como para ejercer de central integradora y coordinadora.

Podría obtenerse más información si se pudieran estudiar personas a las que les falta el claustro. Hasta ahora, se ha contado con unos pocos pacientes enfermos de cáncer a los que hubo que extirpar esta región únicamente de uno de los hemisferios cerebrales. Además, las evaluaciones psicológicas a las que se les sometió resultaron someras, por lo que no se dispone de datos concluyentes.

Una alternativa para seguir investigando podría consistir en desconectar, de forma temporal, el claustro en personas sanas. De hecho, existe esa posibilidad. En los rituales chamánicos que efectúan los mazatecas del sur de México se utiliza *Salvia divinorum* («salvia de los dioses») como estupefaciente. Se trata de una singular especie dentro de la familia de las mentas, que provoca alucinaciones si se mascan o fuman sus hojas.

Los chamanes de los mazatecas usan dicha planta para oír las voces del mundo de los dioses. En el México colonizado por los españoles, elementos de las religiones aborígenes fueron integrados a la fe católica. De este modo, *S. divinorum* («ska María Pastora», en el argot de los chamanes), se consumía sobre todo en relación al culto mariano.

Revelación de las drogas

La salvinorina A es la sustancia psicoactiva de las hojas de *S. divinorum*. Esta molécula se une a unos receptores alojados en las membranas de algunas neuronas, los cuales reciben el nombre de receptores de opiáceos κ. La estructura de estos se asemeja a la de los receptores de opiáceos μ, donde drogas como la morfina y la heroína

EL AUTOR

Klaus Stiefel es doctor en neurobiología.

WIKIMEDIA COMMONS / PHYZOME / CC-BY-SA-3.0

Las hojas de *Salvia divinorum* (también «salvia de los dioses» o «de los aztecas») contienen salvinorina A, una sustancia psicoactiva que se une a receptores que abundan en el claustro.

provocan su acción tranquilizadora y analgésica; también allí es donde crean dependencia. Pero la activación de los receptores de opiáceos κ desencadena efectos diferentes.

No es excepcional que dos receptores similares actúen de forma completamente distinta. Por una parte, los receptores de opiáceos κ y μ activan proteínas diferentes en el interior de las neuronas. Por otra, ambos se hallan distribuidos por el cerebro de forma diversa; solo en aquellas regiones cuyas neuronas presentan los receptores actúan las respectivas sustancias.

Como en el caso de otros receptores cerebrales, la distribución de los de los opiáceos κ también resulta muy irregular: en muchas regiones escasean o incluso no se encuentran, mientras que en otras abundan. El lugar en el que existen más receptores de opiáceos κ es el claustro. Por tanto, *S. divinorum* actúa sobre todo en ese lugar. Dicho de otro modo, fumar o mascar la droga puede ser un método específico para desconectar temporalmente el claustro humano.

Alex Holcombe, de la Universidad de Sídney, Alistair Merrifeld, del Servicio Australiano de Estadística Médica, y el autor (Stiefel) decidimos aprovechar esa posibilidad. Los efectos psíquicos de *S. divinorum* debían ayudarnos a descubrir si el claustro desarrolla realmente la función de «batuta» de la consciencia.

Con todo, resulta difícil obtener la autorización para un experimento en el que se administrará una droga a personas sanas, por lo que usamos un método distinto: analizamos los relatos de personas que habían experimentado con sustancias psicoativas. Estos datos los extrajimos de páginas web especializadas (www.erowid.org). De forma anónima, los usuarios en línea comentan sus vivencias con la droga. Está claro que no se puede conceder el mismo valor científico a estas informaciones que a las obtenidas a partir de un estudio bajo condiciones experimentales controladas, pero los métodos estadísticos permiten minimizar los posibles errores en la valoración.

Como grupo comparativo tomamos los informes de consumidores de LSD, así como de usuarios de otras sustancias que alteran la consciencia, entre ellas, la psilocibina o la mescalina. El LSD actúa primero sobre los receptores de serotonina que se encuentran en la corteza cerebral. Para seguir con el símil de Crick y Koch, podríamos decir que dicha droga interviene sobre la orquesta de la consciencia, aunque no sobre su director.

Zombis, hadas y otras alucinaciones

El contenido de los relatos escritos por los consumidores de la «salvia de los dioses» revelaba la dificultad que tenían para expresar con palabras los efectos de la droga. Asimismo, permitía extraer algunas tendencias: estos individuos viven de forma especialmente intensa la sensación de que su propio ser se disuelve. Pierden la experiencia subjetiva, como si se convirtieran en una entidad separada del ambiente que les rodea. En realidad, estas personas siguen teniendo consciencia del mundo exterior, pero dejan de sentirse como un yo. A menudo, dejan de percibir que forman parte activa del entorno o que pueden intervenir en él.

Por otra parte, los consumidores de *S. divinorum* tienen la sensación de que se encuentran en un lugar distinto al real. Uno de los usuarios indicaba que se hallaba en la habitación de cuando, hace años, era adolescente. Otro contaba que, de repente, se imaginó en una aldea del Caribe. Con frecuencia, esta planta desencadena en las personas una variante de alucinación particular: muchos de los relatos en línea informan de zombis, hadas o figuras mitológicas que se comunican con ellos. A menudo viven esa interacción de forma intensa y emotiva. Además, en comparación con los otros consumidores de drogas, este colectivo sufría más alucinaciones que afectaban no solo a la visión, sino también a otros sentidos.

La pérdida del propio yo y la impresión de estar en un lugar completamente distinto apoyan el supuesto de que *S. divinorum* trastorna un proceso fundamental para la consciencia, ya que el cerebro integra numerosas percepciones aisladas para interpretarnos como persona. La suma de todo lo que vemos, oímos, olemos o sentimos nos transmite la impresión, por ejemplo, de estar sentados en el salón de casa.

A todo ello cabe añadir otros conocimientos recientes. El neurólogo Mohamad Z. Koubeissi, de la Universidad de Washington, se convirtió, de manera inesperada, en el autor de un hallazgo cuando preparaba la operación quirúrgica del cerebro de una paciente con epilepsia. Con

el fin de buscar el foco de los ataques de la mujer, el investigador estimuló con electricidad una pequeña región situada en la inmediata proximidad del claustro izquierdo. Al parecer, durante ese espacio de tiempo la afectada perdió la consciencia: dejó de leer, tenía la mirada fija y no reaccionaba a las advertencias ni a los gestos. En el momento en que cesó la estimulación, volvió a comportarse de forma normal. Pero no recordaba nada de lo que había ocurrido instantes antes.

En los últimos años, un equipo dirigido por John Smythies y Vilayanur Ramachandran, de la Universidad de California en San Diego, ha perfeccionado la hipótesis de Crick y Koch: estos científicos han estudiado la forma en que el claustro sincroniza la llegada simultánea de señales procedentes de áreas corticales distintas, de modo que podría relacionar diversas informaciones. No obstante, la última palabra sobre este tema todavía no se ha pronunciado; ni mucho menos.

De momento, debe partirse del supuesto de que el claustro desempeña un papel esencial en la coordinación de la consciencia humana. La combinación de las elucubraciones de un premio nóbel y las informaciones sobre experiencias de consumidores de una planta estupefaciente parece que nos ha permitido avanzar en el enigma de la mente consciente. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 74

PARA SABER MÁS

Salvinorin A, an active component of the hallucinogenic sage *Salvia divinorum* is a highly efficacious κ-opioid receptor agonist: Structural and functional considerations. C. Chavkin et al. en *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, vol. 308, págs. 1197-1203, 2004.

What is the function of the claustrum? F. C. Crick y C. Koch en *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 360, págs. 1271-1279, 2005.

Neural generators of ERPs linked with necker cube reversals. M. A. Pitts et al. en *Psychophysiology*, vol. 46, págs. 694-702, 2009.

The claustrum's proposed role in consciousness is supported by the effect and target localization of *Salvia divinorum*. K. M. Stiefel et al. en *Frontiers in Integrative Neurosciences*, vol. 8, pág. 20, 2014.

EN NUESTRO ARCHIVO

¿Cómo surge la consciencia? Christof Koch y Susan Greenfield en *IyC*, diciembre de 2007.

El claustro: ¿puerta de la consciencia? Christof Koch en *MyC* n.º 71, 2015.

Francis Crick y la sede de la consciencia. José María Valderas en *MyC* n.º 74, 2015.

¿Te gustaría que la biblioteca de tu barrio, escuela o universidad se suscribiera a INVESTIGACIÓN Y CIENCIA **DIGITAL**?

- Acceso permanente a **toda la hemeroteca digital**
- Información de calidad sobre el **avance de la ciencia y la tecnología**
- Contenidos de **gran valor didáctico** para tus clases y trabajos

www.investigacionyciencia.es/recomendar

Rellena el formulario de recomendación
y nosotros nos encargamos de las gestiones

NEUROIMAGEN Las técnicas de neuroimagen avanzan en el acceso a pensamientos y estados mentales. Sin embargo, la ciencia todavía debe recorrer un largo camino para descifrar, a partir de la actividad cerebral, qué nos pasa por la cabeza

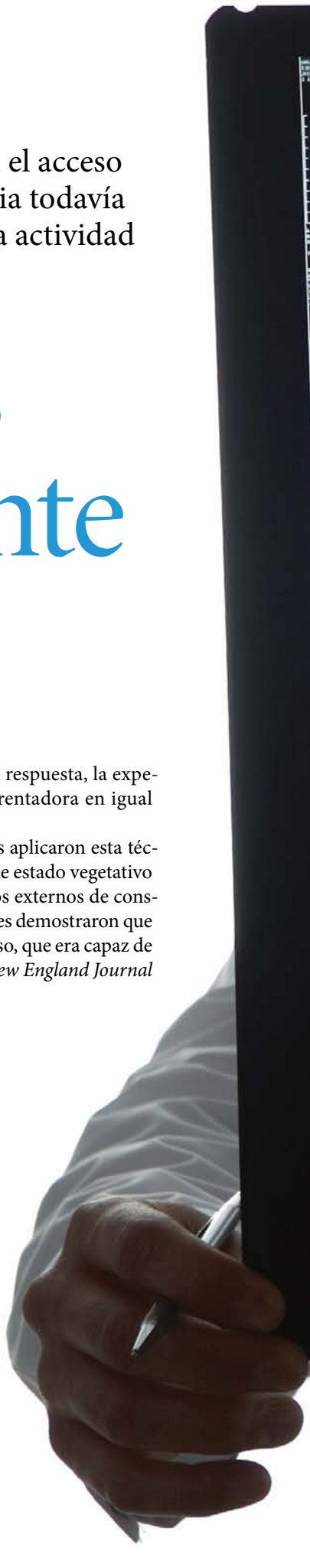
Mecanismos para leer la mente

DANIEL BOR

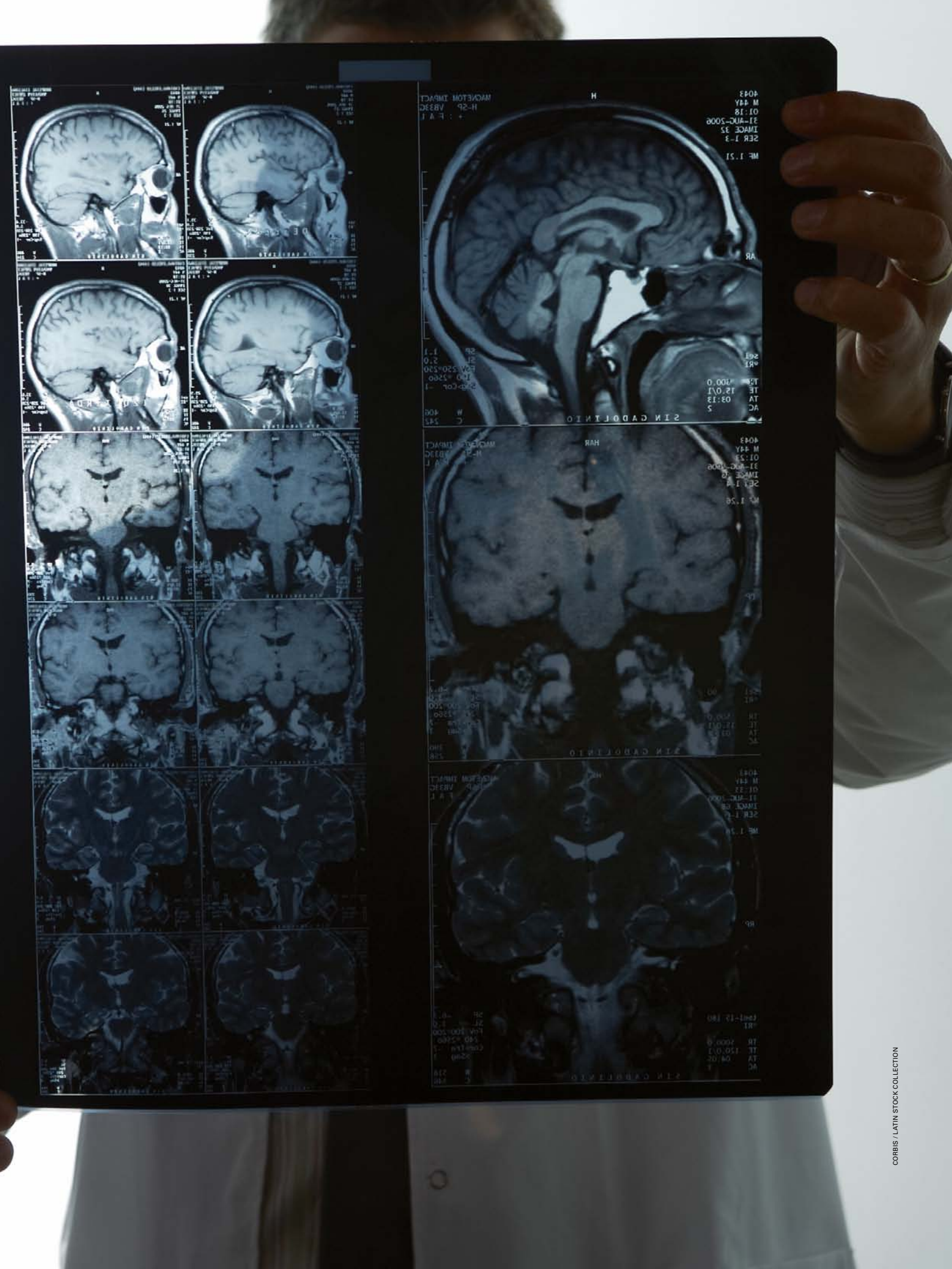
Como favor a los investigadores de mi departamento universitario, a menudo he servido de cobaya en el escáner de resonancia magnética funcional. Casi siempre he tenido que batallar contra el sueño mientras los estímulos destellaban en una pantalla y reverberaban por la sala los agudos e hipnóticos *bips* del escáner. Esta vez se trataba de otro asunto. Martin Monti, de la Unidad de Ciencias Cerebrales y Cognitivas del Consejo de Investigación Médica (MRC), en Cambridge, iba a leerme el pensamiento. Mientras la camilla donde yacía me deslizaba al interior de la enorme rosquilla del escáner, tuve la extraña sensación de que iban a dejarme desnudo; mentalmente, al menos.

La tarea era sencilla: Monti me iría planteando preguntas («¿Tienes hermanos? ¿Crees que Inglaterra ganará un partido de fútbol esta tarde?», entre otras de ese jaez). Para responder con un «sí» debía imaginar que estaba jugando al tenis, pues al hacerlo, se activaría en mi cerebro un sistema de regiones motoras concreto. Si quería expresar un «no» debía verme recorriendo las habitaciones de mi casa, lo que activaría un conjunto de áreas cerebrales bien diferentes e implicadas en la percepción de escenas. Dado que cada toma del escáner, es decir, cada una de mis respuestas (fueran afirmativas o negativas), requería cinco minutos, el diálogo no resultó de los más animados. Sin embargo, como Monti acertaba siempre cuál había sido mi respuesta, la experiencia resultó apasionante y amedrentadora en igual medida.

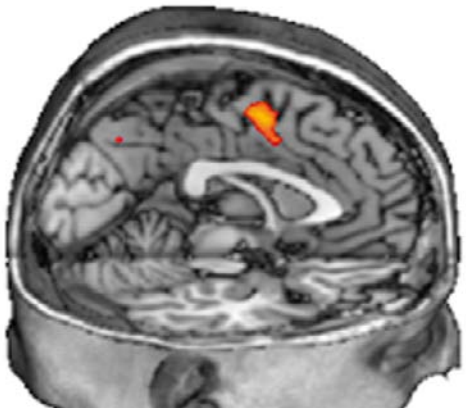
En 2009, Monti y otros científicos aplicaron esta técnica en una paciente diagnosticada de estado vegetativo permanente. Apenas mostraba signos externos de consciencia. No obstante, los investigadores demostraron que la mujer estaba aún consciente; incluso, que era capaz de comunicarse, según publicaron en *New England Journal*



¿Podrá descifrarse algún día nuestro mundo mental interior a través de los patrones de actividad del cerebro? Esta pregunta ocupa a muchos científicos.

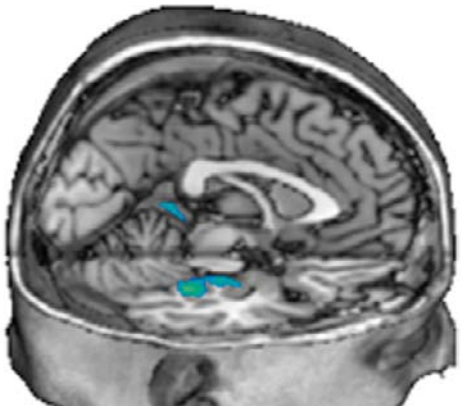


CORBIS / LATIN STOCK COLLECTION



CORTESÍA DE MARTIN MONTY, © 2010

Imagine que juega al tenis para decir «sí» (*naranja*); visualice la distribución de su casa para contestar «no» (*azul*). Esta técnica ha permitido que una paciente con lesión cerebral se comunique a través del pensamiento.



of Medicine el 18 de febrero de 2010. La mujer respondía a las preguntas de los médicos con un «sí» o un «no» por el mismo procedimiento que Monti había practicado conmigo, es decir, solo con el pensamiento. En la actualidad no existe ningún otro medio que confirme que una mente consciente, capaz de comunicarse, se encuentra amordazada en el cuerpo inanimado de un paciente.

Diez años atrás, semejante proeza de «telepatía científica» hubiera resultado inaudita. Hoy en día, leer la mente esta empezando a primar en las neurociencias, bajo diversos ropajes. ¿Qué ha suscitado esta revolución? En los últimos años, numerosos científicos han modificado sus métodos de análisis de los datos que recaban a través de los escáneres cerebrales. Merced a una nueva técnica de tratamiento de la información, han podido descifrar actividad cerebral y revelar no solo el contenido del pensamiento consciente, sino también información de la mente inconsciente de los probandos. Incluso han llegado a recrear imágenes de películas que aquellos estaban viendo. La nueva técnica ha permitido atisbar más hondamente los entresijos de la memoria y los complejos procesos que concluyen en una decisión. Pero, el método se encuentra todavía en sus inicios: los avances más impresionantes están por llegar.

En síntesis: Pensamientos visibles

1 El análisis multivariado de patrones revela que ciertas pautas de actividad cerebral pueden corresponder a estados mentales concretos.

2 Basándose en la actividad cerebral, puede predecirse en qué figura está pensando un sujeto o qué actividad imagina estar realizando, pero solo dentro de una corta lista de posibilidades.

3 La lectura del pensamiento, es decir, la capacidad de descodificar pensamientos espontáneos, exigirá grandes progresos técnicos. Las investigaciones actuales proporcionan indicios clave sobre la forma en que el cerebro recuerda o decide.

Ver el bosque y los árboles

Las tentativas de calar en la mente de otros no son una novedad. Los polígrafos o detectores de mentiras testimonian un siglo de intentos perseverantes de aplicar la técnica a la descodificación de pensamientos. Mas estos equipos usan métodos indirectos: solo detectan la respuesta de estrés, que puede ser un indicio de ocultación de la verdad. Una auténtica lectura de la mente exigiría la descodificación directa de la actividad cerebral. Se está progresando en esa dirección: ya se han conseguido interfaces cerebro-máquina, sea por encefalografía, sea por implantación de electrodos en el cerebro, que, tras detectar las señales nerviosas, logran traducirlas en órdenes capaces de articular un brazo robótico o desplazar un cursor por una pantalla de ordenador. Se está investigando la aplicación de estas técnicas, con miras a que las personas con esclerosis lateral amiotrófica, cuya capacidad de movimiento se va degradando de forma progresiva, puedan controlar una interfaz de comunicación mediante el pensamiento [*véase* «Neuroprótesis interactivas», por Frank W. Ohl y Henning Scheich; Mente y Cerebro n.º 25, 2007].

A pesar de su enorme importancia en medicina, ese tipo de descodificación de señales posee un limitado potencial para leer la mente: exige que los usuarios practiquen durante horas para orientar su pensamiento de manera que un ordenador logre traducir sus señales cerebrales en órdenes de habla o movimiento. Descodificar todo un repertorio de procesos mentales, sin recurrir a un intenso entrenamiento previo, requiere una metodología muy distinta.

Entra aquí en escena la tomografía por resonancia magnética funcional (RMf). Desarrollada a finales del siglo xx, esta técnica de neuroimagen abría nuevos caminos para atisbar la mente en funcionamiento a partir

de la detección del flujo de sangre hacia regiones cerebrales activas. Los conjuntos de datos que proporciona la RMf pueden ser enormes. Cada imagen de actividad puede exigir el análisis de 100.000 elementos tridimensionales (vóxeles), con la toma de una nueva imagen cada dos segundos en sesiones que pueden durar hasta una hora. La manera tradicional de solucionar este problema consiste en enfocar en cada imagen uno de esos 100.000 vóxeles en una misma localización en todos los sujetos y observar si la actividad en ese vóxel determinado aumenta o disminuye con el transcurso del tiempo en concordancia con las fluctuaciones mentales que se estudian.

No obstante, esa forma de analizar los escáneres cerebrales supone desechar enormes cantidades de datos útiles y desdeñar información sobre el modo en que podrían colaborar entre sí estos vóxeles dentro de cierto patrón de actividad. Tal proceder equivaldría a examinar una fotografía borrosa y decidir que solo merecen interés las partes más brillantes. El nuevo método habría de considerar todas las texturas y los contrastes de la imagen borrosa, calibrar qué relaciones pueden existir entre ellos y crear nuevas formas y figuras. Se trata, en definitiva, de reconocer si la imagen corresponde a un paisaje pintoresco o a un rostro sonriente.

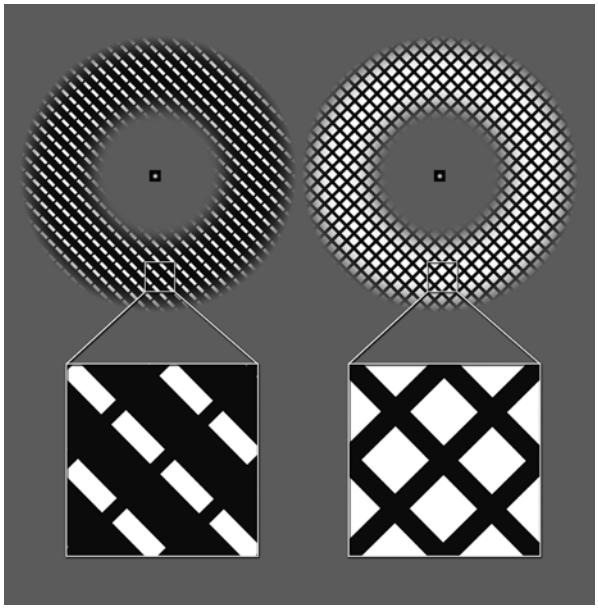
La novedosa técnica de sensibilidad mayor se conoce como análisis multivariado de patrones (MVPA, por sus siglas en inglés). Constituye una forma de inteligencia artificial. El programa crea algoritmos que vinculan fenómenos mentales con pautas concretas de actividad cerebral (cuando se le dice que una persona está jugando al tenis, detecta una señal correspondiente en los patrones de actividad entre los vóxeles del área motora). Basándose en estas valoraciones, formula predicciones sobre la relación entre datos cerebrales novedosos y el estado mental de esa persona. Cada vez que el programa detecta un patrón identificable de señales cerebrales, formula una predicción sobre lo que ese individuo está pensando: si se imagina jugando al tenis o, en caso de que la actividad cerebral muestre una forma distinta, si cavila sobre algún otro asunto. Estas predicciones abren a los neurocientíficos la posibilidad de leer contenidos mentales.

Localizar la consciencia

Al inicio, los principales éxitos del MVPA se debieron a la delicada cuestión de cómo la actividad cerebral genera consciencia. ¿De qué modo logramos encontrar lógica visual en el mundo que nos rodea? Geraint Rees, del Colegio Universitario de Londres, y sus colaboradores estudiaron en 2005 un efecto óptico harto conocido: la rivalidad binocular. Cuando se presentan de forma simultánea imágenes diferentes a cada ojo, estas se perciben por turnos, una a una, a pesar de que los ojos están viendo ambas a la vez. Dicho de otra manera, la consciencia tiende a crear una alternancia de imágenes cada 15 segundos, más o menos [*véase* «Rivalidad binocular», por Vilayanur S. Ramachandran y Diane Rogers-Ramachandran; Mente y Cerebro n.º 29, 2008].

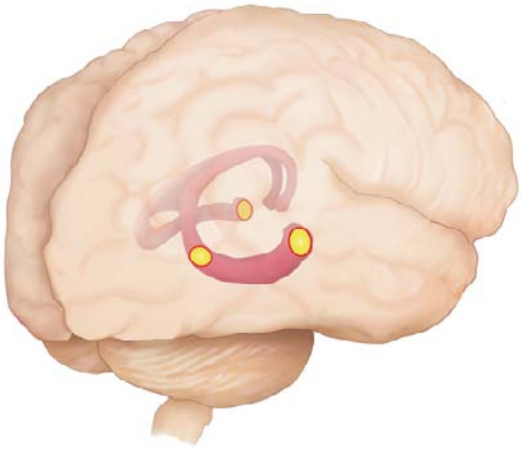
El equipo de Rees, valiéndose del MVPA, averiguó qué ocurría en el cerebro mientras las imágenes se iban alternando. Observaron que la actividad de la corteza visual primaria, la primera de las áreas corticales que responde cuando miramos algún objeto, consistía en datos en bruto, sin apenas relación con la imagen que veían los participantes de manera consciente. Otras regiones visuales, de mayor complejidad y que tardan más en activarse dentro de la secuencia de fenómenos, creaban la imagen que los sujetos afirmaban ver en cada momento. Los métodos normales de análisis de imágenes cerebrales carecían de potencia para detectar tales resultados.

Rees y John-Dylan Haynes, hoy en el Centro Bernstein de Neurociencia Computacional, en Berlín, se valieron en 2005 del análisis multivariado para «leer» las mentes inconscientes de sus probandos. Presentaron a los voluntarios imágenes de un disco negro marcado con líneas de trazos blancos orientadas en una de dos posibles direcciones. Casi todo el tiempo, el disco se hallaba enmascarado por otro que presentaba líneas que se cruzaban



ADAPTADO DE: «PREDICTING THE ORIENTATION OF INVISIBLE STIMULI FROM ACTIVITY IN HUMAN PRIMARY VISUAL CORTEX», J. D. HAYNES Y G. REES EN *NATURE NEUROSCIENCE*, VOL. 8, N.º 5, 2005

En un estudio, los escáneres cerebrales mostraron la mente subconsciente de los sujetos. Estos debían mirar fijamente a una pantalla en la que aparecía un disco blanco (*derecha*) interrumpido por breves destellos de un disco negro (*izquierda*). Los probandos no veían el disco negro el tiempo suficiente para saber en qué orientación apuntaban los trazos blancos de su contorno, mas la actividad cerebral de los participantes reveló que habían registrado esa información en su subconsciente.



MELISSA THOMAS (*cerebro*); THINKSTOCK / THETRAUMATEAM, MODIFICADO POR *MENTE Y CEREBRO* (*mujer tirando vaso*)

Cuando una persona recuerda un suceso o una breve escena, como la de una mujer que arroja un vaso de plástico usado, se activa en su cerebro la memoria episódica a fin de reproducir mentalmente el acontecimiento. Gracias a una técnica estadística, puede determinarse cuál de un total de tres filmaciones evocan los probandos en un momento determinado. El mismo método de análisis ha reforzado el conocimiento sobre el hipocampo (*rosa*), principal área de almacenamiento de recuerdos, ya que muestra la participación de subestructuras (*amarillo*) importantes en la memoria episódica.

en ambas direcciones. Cuando la máscara desaparecía, emergía el disco diana durante 17 milisegundos cada vez, intervalo demasiado breve para que los sujetos pudieran registrar de manera consciente la orientación de las líneas de trazos. Como cabía esperar, sus respuestas sobre la orientación de las líneas del disco diana revelaron un 50 por ciento de acierto, pero por puro azar. Sin embargo, si los investigadores utilizaban el MVPA para estudiar la corteza visual primaria de los probandos, lograban determinar la orientación que veía cada uno de los sujetos, a pesar de que ellos mismos desconocían ese dato. Al igual que en el estudio precedente, los resultados sugieren que la corteza visual primaria contiene una versión estrictamente cerebral de lo que los ojos ven; otras regiones visuales del cerebro se encargan de procesar esa información más tarde y de forma más consciente.

Los potentes métodos MVPA no tardaron en aflorar en territorios muy alejados de la percepción consciente. Aunque se están efectuando progresos, éticamente muy debatidos, para pronosticar mediante esta técnica si una persona miente [*véase* «Detección de mentiras», por Matthias Gamer; Mente y Cerebro n.º 35, 2009], destacan los resultados en otro campo psicológico, a saber, en la toma de decisiones.

En 2008, Haynes pidió a un grupo de probandos que ejecutasen una sencilla tarea mientras yacían en el escáner de RMf. Los participantes debían elegir entre pulsar el botón derecho o el izquierdo de un mando a distancia. Cuando Haynes configuró su algoritmo para saber a qué patrones de actividad correspondía esta decisión, quedó atónito al descubrir señales vigorosas en las cortezas prefrontal y parietal del cerebro de los probandos (dichas áreas participan en el procesamiento de objetivos nuevos o complejos) hasta 10 segundos antes de que el sujeto decidiese actuar de forma voluntaria. Este resultado aporta cuestiones profundas: ¿carecemos de libre albedrío? ¿O el libre albedrío solo se activa en decisiones más complejas? Para responder a estas preguntas se necesitan más investigaciones. Resulta apasionante, empero, que el MVPA haya trasladado estas preguntas, que pertenecieron en exclusiva al campo de la filosofía, al ámbito del estudio científico.

Sé lo que ves

Uno de los inconvenientes de numerosos estudios mediante RMf radica en que los estímulos son tan artificiales (trazos blancos sobre un disco negro) que su generalización al mundo real se hace limitada. Sin embargo, con la flexibilidad y potencia de los métodos multivariantes actuales resulta posible presentar a los probandos fotografías o vídeos y analizar la actividad cerebral resultante mientras se encuentran en el escáner. Tales métodos

EL AUTOR

Daniel Bor es neurocientífico cognitivo en el Centro Sackler para la Consciencia de la Universidad de Sussex.

han facilitado a los científicos una comprensión más plena de los aspectos básicos de la formación de recuerdos y del funcionamiento de la memoria. Eleanor Maguire, también del Colegio Universitario de Londres, y su equipo se han valido de MVPA para identificar patrones de activación del hipocampo (almacén cerebral de los recuerdos), según publicaron en *Current Biology* en marzo de 2010. Para su ensayo mostraron a los voluntarios tres grabaciones de vídeo, de siete segundos cada una, en las que se veía a mujeres ejecutando actividades cotidianas (en una de las filmaciones, una mujer bebía un café y tiraba el vaso de plástico vacío a la papelera). Los sujetos, dentro del escáner, rememoraban cada una de las escenas. Mediante el análisis multivariado de patrones, los investigadores pudieron pronosticar cuál de las grabaciones estaban memorizando en ese momento. Descubrieron, asimismo, que ciertas áreas del hipocampo, entre ellas las porciones anteriores derecha e izquierda y la posterior derecha, revestían especial importancia en la conservación de estos recuerdos episódicos.

Por impresionantes que parezcan los resultados obtenidos hasta ahora, los estudios son, en cierta manera, burdos, ya que solo seleccionan un estado mental entre unos pocos (¿el sujeto piensa en un partido de tenis o en la disposición de su casa?), logro que se encuentra a gran distancia de conseguir una «lectura de la mente» genuina. Esta debería revelar los pensamientos de una persona sin limitarse a una breve lista de posibilidades predeterminadas. Parece, no obstante, que un laboratorio se está acercando a ello. John Gallant, de la Universidad de California en Berkeley, publicó en 2008 que sus programas de reconocimiento de configuraciones podían adivinar cuál, de entre 1000, era la fotografía que una persona acababa de ver; un impresionante salto cuantitativo con respecto a las dos o tres opciones que otros algoritmos han aprendido a reconocer. En el congreso de la Sociedad de Neurociencias de 2010, Gallant ofreció datos que iban mucho más allá: reconstruían, a partir de la actividad de la corteza visual de los sujetos, qué estaban viendo cuando presenciaban una serie de avances publicitarios de películas. En el momento mismo en que aparecía en pantalla un hombre con una camisa blanca, el programa proyectaba una silueta de un torso blanco. Estos datos no han sido publicados todavía en una revista con revisión científica externa, y la reconstrucción se encuentra todavía en un estadio preliminar, por lo que tales resultados han de ser tomados con cautela. Con todo, estos progresos hacen concebir grandes posibilidades, como la de «consultar» los recuerdos de testigos de un delito, o incluso registrar y reproducir el imaginario de los sueños.

No faltan científicos escépticos sobre las promesas del MVPA. Los estudios que aspiran a demostrar que la técnica es capaz de predicciones acertadas resultan, desde el punto de vista estadístico, reveladores. Sin embargo, ello significa con frecuencia que las conjeturas del ordenador solo son un poquito más acertadas que las del puro azar. Muchos estudios que se fundan en el análisis multivariado de patrones para optar por una entre dos alternativas puntúan alrededor de un 60 por ciento de éxitos, cuando la elección a ciegas lograría un 50 por ciento. Se trata de una mejora útil, pero no de telepatía. El experimento binario (con una posibilidad de respuesta de «sí» o «no») en el que participé resulta mucho más robusto, debido, en parte, a que recoge mucha más información antes de valorar las posibles respuestas. Sin embargo, si me saltase las reglas y en lugar de imaginarme jugando al tenis pensara en que estoy jugando al fútbol o visitando la casa donde me crié en vez de mi domicilio actual, ni el programa de predicción ni el experimentador se hubieran percatado de que infringía las instrucciones del experimento.

En definitiva, el escáner magnetográfico proporciona medidas indirectas y ruidosas de la actividad neuronal. Se cree que esta se halla en correlación con el flujo de sangre; aunque ese flujo puede no ofrecer una representación perfecta. La naturaleza imperfecta de los datos impone limitaciones intrínsecas a las posibilidades de esta tecnología. Incluso si la tomografía por resonancia magnética funcional proporcionase medidas directas, estas seguirían siendo promedios aproximados, puesto que cada vóxel representa la actividad conjunta de muchas decenas de miles de neuronas. Dicho esto, pudieran asomar por el horizonte progresos técnicos sobre la física de la formación de imágenes por resonancia magnética que permitirían medidas más fiables y de resolución más refinada, lo que lograría trasladar del reino de la ciencia ficción al mundo real la posibilidad de leer el pensamiento. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 69

PARA SABER MÁS

Decoding mental states from brain activity in humans. John-Dylan Haynes y Geraint Rees en *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 7, n.º 7, págs. 523-534, julio de 2006.

Identifying natural images from human brain activity. Kendrick N. Kay, Thomas Naselaris, Ryan J. Prenger y Jack L. Gallant en *Nature*, vol. 452, págs. 352-356, marzo de 2008.

Unconscious determinants of free decisions in the human brain. Chun Siong Soon, Marcel Brass, Hans-Jochen Heinze y John-Dylan Haynes en *Nature Neuroscience*, vol. 11, n.º 5, págs. 543-545, mayo de 2008.

Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness. Martin M. Monti et al. en *New England Journal of Medicine*, vol. 362, n.º 7, págs. 579-589, febrero de 2010.

EN NUESTRO ARCHIVO

El problema de la consciencia. Francis H. C. Crick y Christof Koch en *IyC*, noviembre de 1992.

Medidor de la consciencia. Christof Koch en *MyC* n.º 64, 2014.

REDUCCIONISMO Ni un dios, ni un alma inmortal, ni tampoco un espíritu. Nuestra consciencia depende únicamente del cerebro. Esta reivindicación de algunos neurobiólogos despierta polémica y plantea ciertas preguntas

La consciencia: ¿solo un montón de neuronas?

MANUELA LENZEN

Resulta maravilloso contemplar un arcoíris que luce con sus vivos colores en un cielo despejado tras unas horas de constante lluvia. Parece como si pudieramos pasear por su lomo colorido. Pero, según aprendimos en el colegio, este fascinante fenómeno de la naturaleza se debe a que los componentes espectrales de los rayos del sol se separan al atravesar las diminutas gotas de agua. Es decir, pura física.

Los investigadores traducen fenómenos multifacéticos en teorías que explican con conceptos básicos los datos observados. No obstante, aplicar esta manera de proceder a la mente humana despierta con frecuencia un pequeño y tóxico fantasma que propone enunciados como «x no es sino y». Por esta razón, el filósofo Donald Davidson (1917-2003) sugirió para la mente el enunciado de «no es sino un reflejo».

La mente «no es sino» el producto de la actividad neuronal; el amor «no es sino» una secuencia de reacciones neurofisiológicas, y el yo «no es sino» un espejismo. Este fantasma importuna de forma regular tanto a los investigadores como a los que popularizan la ciencia con agudas expresiones y la promesa de que los conocimientos neurocientíficos revolucionarán la visión del mundo occidental. Los críticos refutan estas afirmaciones por arrogantes. La ciencia nunca podrá reducir al ser humano a meros impulsos neuronales. Pero ¿qué se esconde detrás del término *reduccionismo*?

«Esa es más bien una pregunta técnica y vacía», indica el filósofo Thomas Metzinger, de la Universidad de Maguncia. «En las reacciones contundentes a las explicaciones reduccionistas se reconoce un interés por otros asuntos, como por ejemplo, la pregunta de si existe un alma inmaterial.» Según Metzinger, ningún investigador serio quiere negar a las personas ciertos aspectos de su ser. Describir el amor como la liberación de ciertos neurotransmisores químicos y la puesta en marcha de unos determinados patrones de actividad neuronal no acaba con él. Después de todo, tampoco se estropea el disfrute de un concierto cuando se sabe que los sonidos consisten en vibraciones del aire.

Aunque solo sentimos y pensamos cuando nuestras células cerebrales colaboran entre sí de un modo determinado, somos más que una aglomeración de neuronas. De igual forma, nuestra sensación ante la visión de un arcoíris es más que lo que resulta de meras propiedades físicas.

La ciencia reduce la complejidad del mundo a regularidades comprensibles y comprobables.

Si se dan a y b bajo la condición c, entonces se da necesariamente d

NEUFFER-DESIGN

En síntesis: En busca de una explicación

1 Muchas personas critican el planteamiento reduccionista que los neurocientíficos emplean para explicar nuestras conductas y experiencias.

2 La ciencia trata de aclarar fenómenos complejos, como el comportamiento o la consciencia, mediante modelos y leyes más sencillas.

3 El objetivo de encontrar una explicación científica a los fenómenos psicológicos no quita importancia a su función trascendental en nuestras vidas.

El reduccionismo consiste, sobre todo, en una estrategia sobria para alcanzar el conocimiento científico. En pocas palabras, se trata de reducir interrelaciones complejas a principios más sencillos. Metzinger indica que ello no tiene nada que ver con la *Lebenswelt* («mundo de la vida») del ser humano. «No debemos perder de vista que el reduccionismo es una relación entre teorías y no entre fenómenos.»

Sin embargo, la forma en que los científicos explican nuestra vida subjetiva no nos deja indiferentes. La neurociencia influye en cómo nos observamos a nosotros mismos. Ese cómo depende, sobre todo, de las respuestas a tres preguntas: ¿Puede explicarse la consciencia desde la ciencia? ¿Convierte la neurociencia a la psicología en innecesaria? ¿Requerimos una nueva imagen del ser humano?

1. ¿Puede explicarse la consciencia desde la ciencia?

A lo largo del tiempo, los filósofos han fraguado muchas teorías y múltiples argumentos para razonar que la consciencia humana escapa a una explicación científica. El fondo de la cuestión se halla en «el resistente problema de la consciencia», indica David Chalmers, especialista en filosofía de la mente y del lenguaje. Se trata de la cualidad vivencial subjetiva, o qualia, es decir, del hecho de que las experiencias individuales se perciben de una manera determinada, ya sea comer un trozo de tarta, sufrir dolor de muelas o sentir miedo a las arañas [*véase* «Los placeres de los qualia», por Volkart Wildermuth; Mente y Cerebro n.º 46, 2011].

El reduccionismo es una estrategia sobria para alcanzar el conocimiento científico: trata de reducir complejas interrelaciones a principios sencillos

Los hallazgos neurocientíficos sobre el modo en que trabajan las neuronas no explican, hasta la fecha, por qué sentimos dolor, miedo o placer. Ni tan siquiera saben por qué experimentamos esas emociones. Metzinger señala: «Si nos encontrásemos con un ser dotado de un sistema nervioso totalmente diferente al nuestro no tendríamos ni idea de cómo ese ente experimenta la vida. Tampoco sabríamos de qué modo podríamos averiguarlo».

Por el contrario, neurocientíficos como Stanislas Dehaene, del Colegio de Francia en París, se muestran convencidos de que ese vacío puede llenarse explicando los mecanismos neurológicos que marcan la diferencia entre percepción consciente e inconsciente. En su libro *La consciencia en el cerebro*, escribe: «El estudio de la consciencia se ha convertido en una ciencia experimental». El investigador no ve motivo alguno para considerar el asunto desde una perspectiva sobrenatural.

Mientras no existan pruebas que demuestren lo contrario, la mayoría de los neurocientíficos apoya la comprensibilidad de la consciencia. Ello nos conduce a la segunda cuestión: ¿nos ayuda la neurociencia a entender por qué actuamos como actuamos?

2. ¿Es la psicología innecesaria?

El reduccionismo encontró su expresión más osada en la visión de la ciencia unitaria que los filósofos Hilary Putnam y Paul Oppenheim formularon en 1958. Según sus ideas, las especialidades científicas podrían reducirse, paso a paso, a una disciplina básica: de las ciencias del comportamiento a la biología, de la biología a la química, de la química a la física. De este modo, todos los fenómenos del mundo podrían explicarse, en último término, a través del lenguaje de la física. Incluso la conducta del ser humano o los procesos de la mente.

Hasta la fecha, esa visión no se ha convertido en una realidad. Martin Carrier, filósofo de la Universidad Bielefeld, resume: «En los últimos cincuenta años ha crecido la percepción de que existe una diversidad básica en cuanto a disciplinas de investigación. El proyecto de ciencia unitaria ha quedado en un segundo plano». Hoy se da por hecho que la medicina, la ingeniería o las ciencias sociales poseen sus respectivas agendas y sus propios

LA AUTORA

Manuela Lenzen es filósofa y periodista científica.

conceptos, métodos y criterios de éxito. «Hemos desarrollado un entendimiento mayor para la variedad de aproximaciones», afirma Carrier. Y agrega: «Ello no significa que se hayan relajado los criterios para una buena investigación». Definir, normalizar y pronosticar ha sido y continúa siendo la finalidad de la ciencia.

«Cada vez vemos más claro que para explicar los fenómenos mentales debemos emplear planteamientos multidisciplinares. Necesitamos la neurociencia, pero también las teorías psicológicas, para entender, por ejemplo, las enfermedades mentales. Una única explicación no basta», subraya Albert Newen, profesor de filosofía en la Universidad Ruhr de Bochum.

También en el estudio sobre cognición, los científicos combinan distintos planos explicativos entre sí. Ante la cuestión del origen de nuestra impresión subjetiva, la respuesta parece hallarse en la propia conducta. Newen explica: «Según las investigaciones, necesitamos una especie de mecanismo de comparación que regule esta sensación». Cuando tomamos un vaso, comparamos nuestras expectativas de adónde dirigiremos la mano con los datos sensoriales (visuales) que recibimos. Si ambos coinciden, la acción llega a su objetivo y aparece el sentimiento de logro («Yo he tomado el vaso»).

A través de ingeniosos estudios, los neurocientíficos han demostrado que se puede engañar a este comparador. Cuando alguien situado detrás del probando coloca su brazo de manera que parece que pertenece a la otra persona, y lo mueve siguiendo unas instrucciones que el participante también escucha, siente que el brazo ajeno pertenece a su cuerpo. ¿Conclusión? El hecho de que experimentemos una conducta como propia resulta flexible y depende de las propias expectativas.

Las vivencias se imprimen en el cerebro y este busca determinadas experiencias. Si solo contemplamos los sucesos neuronales, subestimamos esta dinámica

¿Podría reducirse la psicología a teorías neurocientíficas? No parece probable, cuando menos, por dos motivos: uno metodológico y otro pragmático. En primer lugar, existe una interrelación entre cerebro y entorno. Las experiencias se imprimen en el cerebro y este busca continuamente determinadas vivencias. Si solo se contemplan los sucesos neuronales, se subestima esta dinámica. Los neurocientíficos todavía no han logrado des-

Experimentos neurofilosóficos

A lo largo del tiempo, los neurofilósofos han llevado a cabo numerosos intentos para llenar las lagunas existentes entre la descripción científica de los procesos neuronales y nuestra experiencia subjetiva. Explicamos dos de los ejemplos más conocidos para investigar el pensamiento.

María y los colores

María ha vivido siempre en un entorno en blanco y negro. Allí ha aprendido todo lo que hay que saber sobre la neurofisiología de la visión en color. Conoce lo que sucede cuando percibimos los colores. Si viera un tomate rojo por primera vez en su vida, esa experiencia del rojo (qualia) le permitiría aprender algo nuevo. ¿No es así? La respuesta afirmativa sugiere que la percepción consciente incluye algún fenómeno que no puede estudiarse desde la ciencia.

Thomas Metzinger, de la Universidad de Maguncia, señala: «Este argumento se funda en que existe una especie de átomos de la consciencia. Es decir, experiencias del rojo aisladas y procesos neuronales muy delimitados que subyacen a estas experiencias». Hoy se sabe que la percepción del color consiste en un proceso complejo en el que el movimiento (por ejemplo, los desplazamientos sacádicos de los ojos) desempeña un importante papel. Si en todo el campo visual solo hubiera rojo nos quedaríamos ciegos o, al cabo de poco tiempo, veríamos solo una neblina luminosa. Por tanto, no existe ninguna experiencia del rojo aislada. «Los qualia son una ficción filosófica», concluye Metzinger.

Carlo y su doble

Carlo tiene un doble al que llamaremos Carlos. En todo momento, Carlos presenta cada uno de los átomos de su cuerpo exactamente en el mismo estado que Carlo, solo que no experimenta nada, pues es un zombi. Si eso fuera posible, sería cierto que la fisiología por sí sola no explica el fenómeno de la consciencia.

Albert Newen, de la Universidad Ruhr de Bochum, sostiene lo contrario: el argumento del zombi ya presupone en sí mismo lo que tiene que demostrar, a saber, que la experiencia consciente no podría explicarse a través de la neurobiología. «Si se parte de que el zombi doble de Carlo presenta exactamente el mismo estado fisiológico pero no siente nada, significa que la percepción no puede estar sujeta a lo fisiológico. Cualquier naturalista diría que si existe alguna diferencia en la percepción también deberá darse alguna en la fisiología.» El argumento del zombi no responde a la cuestión sobre la naturaleza de la consciencia. Solo aclara la diferencia entre las posiciones del dualismo y del naturalismo.

En el mejor de los casos, el reduccionismo revela la complejidad con la que estamos tejidos. Ello podría ayudarnos a actuar de manera más tolerante unos con otros

cribir adecuadamente la interacción y la influencia recíproca entre cerebro y ambiente.

En segundo lugar, destacan motivos más bien pragmáticos: incluso si conociéramos los procesos neuronales concretos que causan una orden de movimiento, ello no nos llevaría muy lejos. La neurociencia no nos revela nada acerca de los motivos ni las convicciones de las personas. Estas resultan irrenunciables como complemento de las categorías neuronales para entender y configurar las relaciones interpersonales.

3. ¿Necesitamos una nueva imagen del ser humano?

Los reduccionistas intentan transformar las teorías complejas en otras más simples. Por ejemplo, convertir las que tratan de convicciones subjetivas de las personas en otras que se refieran a procesos cerebrales. Por el contrario, los llamados eliminativistas no se molestan en pasos intermedios. Según este enfoque reduccionista radical, las explicaciones de la psicología cotidiana se basan en una imagen falsa del ser humano que habría que desestimar. El yo no es el autor de los actos, sino que otros procesos inconscientes son los responsables. Por tanto, tendríamos que sustituir las explicaciones psicológicas por las neurocientíficas. ¿Incluso si las explicaciones de la neurociencia contradicen los juicios subjetivos? Sí, también entonces, puesto que una teoría de la consciencia no tiene por qué aportarnos sentido. «Tampoco nos quejamos a los físicos de no podernos imaginar cuerdas en once dimensiones», señala Metzinger. «Puede ser que una explicación de la consciencia, si es que alguna vez la tenemos, nos resulte contraintuitiva e intuitivamente insatisfactoria. Pero, si la teoría permite efectuar pronósticos, entonces será buena.»

Por el momento no existe sustituto alguno para las explicaciones de la psicología de la vida cotidiana. Carrier recuerda: «Nos gusta creer que todo se basa en procesos fisiológicos, pero no tenemos ni idea de dónde reside la verdadera explicación. La neurociencia ha contribuido poco a ello hasta ahora». Para comprender por qué Lucas, de doce años, espera en la parada del autobús, pensaremos que quiere ir a casa de su abuela; no argumentaremos que tal o cual actividad neuronal controla sus actos.

A pesar de todo, Metzinger apunta: «En la vida cotidiana no solo empleamos juicios intencionales referidos a deseos y convicciones». Con frecuencia también explicamos el malhumor del compañero con el argumento de que ha dormido poco, o atribuimos la impaciencia de nuestro superior a su dolor de cabeza. «De esta forma, contemplamos a las personas como si fueran máquinas con una alteración en su funcionamiento», aclara Metzinger. Nadie tilda esos pensamientos de inhumanos; al contrario, suelen tenerse por considerados.

Aunque las explicaciones reduccionistas no pueden pronosticar o explicar completamente la experiencia y la conducta de una persona a través de la actividad de sus neuronas, buscar ciertos procesos subpersonales se encuentra en la esencia de la investigación. Ello no tiene por qué considerarse tan negativo como muchos contemporáneos sugieren. De hecho, podría contribuir a conocer mejor las diferencias entre las personas, pues entenderíamos dónde se originan.

Esa posibilidad se asemeja a los sueños vívidos, fenómeno en el que la persona que duerme puede regular de forma activa sus acciones en la ensoñación. Este tipo de sueños se presenta con mayor frecuencia entre los 7 y los 14 años de vida. A esa edad, el cerebro todavía se halla en proceso de maduración, es decir, las fases de vigilia y sueño no están tan nítidamente separadas como en la adultez. Esta explicación también podría aclarar por qué los niños sueñan de forma tan vívida, sin que tengamos que recurrir a argumentos relacionados con el inconsciente o a problemas psicológicos.

Quizá llegue el día en el que el sistema de descripción científico no disponga de un concepto para explicar lo que hoy en día denominamos «yo». Según las teorías de Metzinger, se trata de un modelo generado por el cerebro. «En el peor de los casos, una antropología reduccionista fortalece el desconcierto. Eso puede contribuir a un tipo de materialismo vulgar y a la desolidarización de la sociedad», advierte. En el mejor de los casos, el reduccionismo pone de relieve la enorme complejidad con que estamos tejidos. Esto podría ayudar a tratar de manera un poco más indulgente a los demás. ★

Artículo publicado en Mente y Cerebro n.º 76

PARA SABER MÁS

Reduktionismus in der Hirnforschung: Das «Ego-Tunnel» Verdikt. D. Wandschneider en *Reduktionismen – und Antworten der Philosophie*, dirigido por W. Griesser. Könighausen & Neumann, Würzburg, 2012.

Der Ego-Tunnel. Eine neue Philosophie des Selbst: Von der Hirnforschung zur Bewusstseinsethik. T. Metzinger. Piper, Múnich, 2014.

EN NUESTRO ARCHIVO

Neurociencia y reduccionismo. Juan José Acero y Alberto Morales en *MyC* n.º 9, 2004.

¿Qué significa sentir? Giovanni Frazzetto en *MyC* n.º 64, 2014.

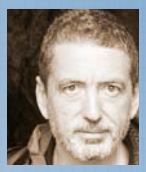
Una ciencia controvertida. Steve Ayan en *MyC* n.º 73, 2015.

SciLogs

www.scilogs.es

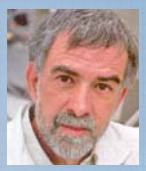
La mayor red de blogs de investigadores científicos

ASTRONOMÍA | CIENCIA Y SOCIEDAD | FÍSICA Y QUÍMICA | MATEMÁTICAS | MEDICINA Y BIOLOGÍA | PSICOLOGÍA Y NEUROCIENCIAS | TECNOLOGÍA



La ciencia y la ley en acción
Las fronteras entre la ciencia y la ley

José Ramón Bertomeu Sánchez | Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia López Piñero



En las entrañas de la mente
El cerebro y la inteligencia humana

Ignacio Morgado | Universidad Autónoma de Barcelona

Psicología 2.0 y mHealth
Salud y enfermedad en la era digital

Manuel Armayones | Universidad Abierta de Cataluña

De ratones y humanos
Neurociencia imperfecta

Carmen Agustín Pavón | Universidad Jaume I de Castellón

Tormenta de cerebros
Avances en neurobiología

José Ramón Alonso | Universidad de Salamanca

Conocer o morir
Filosofía de la ciencia y la computación

Jordi Vallverdú | Universidad Autónoma de Barcelona

Y muchos más...

¿Eres investigador y te gustaría unirte a SciLogs?
Envía tu propuesta a **redaccion@investigacionyciencia.es**

Sigue también Scilogs internacional | .com | .be | .fr | .de

INTELIGENCIA ARTIFICIAL ¿Se puede aprender de los ordenadores algo sobre la consciencia humana? Muchos neurocientíficos lo niegan, opinión que no comparten algunos estudiosos de la inteligencia artificial

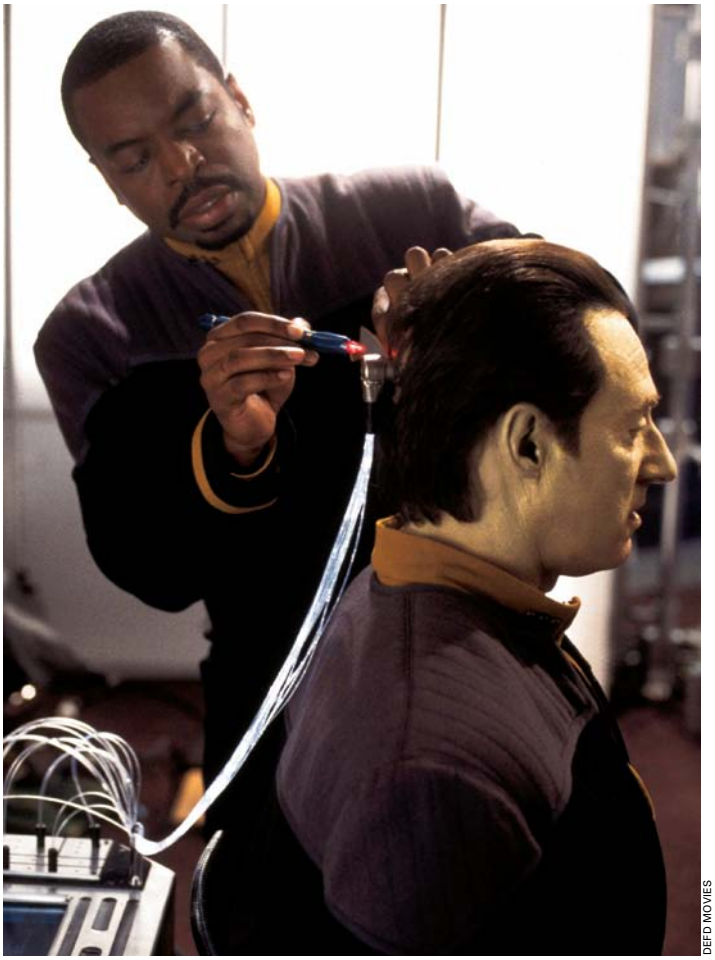
Los axiomas de la consciencia

IGOR ALEKSANDER

El onceañero David quiere a su madre. Nada de particular, si no fuera por la controversia que desató. Al menos entre los espectadores de la película *A. I.*, de Steven Spielberg, pues David es un robot controlado por un ordenador. Un programador le instaló sentimientos. Pero David desarrolla sus propias ideas y deseos, tiene consciencia de sí mismo y, precisamente por ello, es poco correspondido. Al fin y al cabo, las emociones son algo exclusivo de los humanos, algo inmaterial que no es posible originar artificialmente.

La película de Spielberg traslada la acción al año 2193. Pertenece, pues, al dominio de la ciencia-ficción. Pero ¿por qué no puede llegar un día en que una máquina afirme que tiene consciencia? Se han multiplicado los intentos de hacerlo realidad. Un número cada día mayor de científicos trabaja, en todo el mundo, en la creación de la inteligencia artificial. Mas, aun cuando al final de la evolución del espíritu mecánico apareciera un nuevo David, el objetivo prioritario del empeño busca arrojar luz sobre una de las cuestiones más difíciles de las neurociencias: ¿cómo se origina la consciencia en los seres vivos?

Así al menos lo ven muchos investigadores dedicados al progreso de la inteligencia artificial. Pero la idea de que se puede aprender de los ordenadores algo sobre nuestra consciencia debe habérselas con un sinfín de objeciones. Se aduce, sobre todo, que la consciencia tiene que ver con la vida, la evolución y la humanidad. Una máquina, por el contrario, es una cosa fría y sin vida, pro-



DEFD MOVIES

DEFD MOVIES

Los robots de Hollywood tienen consciencia, lo que constituye una fuente de conflicto. Al androide Data (*página anterior*), de Star Trek, el chip del humor le crea un continuo desconcierto. David (*arriba*), en la película *A. I.*, de Steven Spielberg, se vio rechazado por sus sentimientos.

yectada por un espíritu limitado y no puede tener, por tanto, sentimientos humanos. Desde esta perspectiva, no nos sorprenderá que muchos, los legos en particular, consideren una contradicción en los términos la idea de una máquina consciente de sí misma.

¿Luz en la nevera?

Lo cierto es que, entre los estudiosos de la consciencia, predomina el recelo ante los enfoques basados en modelos computacionales. Susan Blackmore arguye que el cerebro no refleja nuestras experiencias de una en una, sino que opera de una manera más difusa, como si nuestro «yo interno» interrumpiera una corriente continua de vivencias personales. Pero esta relación yo-sensación no se da en absoluto; es solo una especie de engaño del encéfalo. Blackmore resume en una imagen el intento de examinar los sentimientos internos con criterios propios de las ciencias de la naturaleza: es «como si se abriera el frigorífico para averiguar si la luz está encendida siempre».

Una idea afín defiende Susan Greenfield, de la Universidad de Oxford. En su opinión, los modelos computacionales «se concentran en el aprendizaje y en la memorización, tareas que puede acometer un PC, aunque no tenga estados internos subjetivos». Greenfield compara la consciencia con el interruptor, con el regulador de voltaje, de una lámpara: la luz se intensifica y se amortigua según el número de neuronas que intervienen.

En mi opinión, la teoría de Greenfield no contribuye a descifrar el enigma de la consciencia. Puede que su propuesta de que los investigadores en inteligencia artificial deberían concentrarse solo en las cuestiones que es capaz de controlar un PC sea adecuada en algunos casos. Pero otro sector de la informática se afana por comprender qué significa para los seres vivos poseer capacidad de recordar y de aprender. Estas facultades no tienen nada que ver con la potencia calculadora de un PC.

No parece realista examinar en profundidad los complejos mecanismos que nos confieren una consciencia. Un camino, que promete éxitos, consiste en desarrollar máquinas inteligentes. Supongamos que se consiguiera crear un sistema en el que los chips estuvieran organizados y funcionaran exactamente igual que las neuronas

EL AUTOR

Igor Aleksander dirige la investigación de sistemas neuronales artificiales en el Colegio Imperial de Londres.

DEFD MOVIES

En la primera parte de la saga *Terminator*, Arnold Schwarzenegger encarna una máquina sin alma, programada para matar. En la tercera película, Kristanne Loken (*a la derecha*) desempeña este papel, mientras el Terminator primigenio se ha transformado, entretanto, en un protector con rasgos que recuerdan a los de un padre.

del cerebro humano. Si cada chip hiciera cabalmente lo mismo que su modelo natural, el sistema de silicio debería desarrollar también una consciencia; al menos en teoría.

Quienes pugnan por crear tales «copias» detalladas del cerebro se sitúan en un extremo de la investigación en inteligencia artificial. Otros se valen de atrevidas reglas preprogramadas que gobiernan la conducta de una inteligencia artificial; es decir, programas informáticos que, para cada entrada de información, producen una salida definida con toda exactitud.

En síntesis:
Objetivo: robots con consciencia

1 La creación de máquinas inteligentes podría ayudar a desentrañar el enigma de la consciencia. Diversos investigadores intentan producir seres artificiales capaces de comportarse como si fueran conscientes de sí mismos.

2 Las reproducciones robóticas de la consciencia deben cumplir un mínimo de axiomas necesario: sentido del lugar, poder de respresentación, atención dirigida, planificación, capacidad de decisión y sentimientos.

3 Una vez instalados los cinco mecanismos axiomáticos en un robot, podría conocerse el funcionamiento de la consciencia humana.

Algoritmos inequívocos

Esta manera de abordar el problema puede que parezca muy rígida y que abandona el objetivo real: la creación de la consciencia. Pero Aaron Sloman, de la facultad de informática de la Universidad de Birminghan, cree que, por ese camino, se pueden soslayar con éxito las confusiones y contradicciones que suelen lastrar la cuestión en torno a la naturaleza de la consciencia. Admite que nadie sabe con precisión de qué está hablando cuando se trata de la consciencia. Declara, sin embargo, que los algoritmos que ha desarrollado son clarísimos e inequívocos. Si estas reglas llevan a las máquinas a una conducta claramente consciente, entonces pueden servir también como base de la solución del enigma.

Junto con su colega Ron Chrisley, Sloman ha programado seres virtuales que se comportan, en el marco de su mundo artificial, como si fueran conscientes de sí mismos. Funcionan siguiendo la regla del condicional «si..., entonces». A modo de ejemplo, esta conexión expresa: si parece que un objeto se me viene encima, entonces incorporo la palabra «miedo» a una de mis memorias. Es obvio que esta regla no brota por sí misma, no se desarrolla automáticamente, sino que ha sido prescrita por un programador.

Estas sensaciones subjetivas, o qualia (singular, quale), son consideradas como la característica nuclear de la consciencia. Los qualia describen cómo se nos muestran las vivencias o las cosas y cómo se aprehenden. Si el lector contempla una rosa roja al amanecer, el modo y la forma en que se le aparece —la peculiar cualidad, personal y subjetiva, de la rosa, su color rosado— es, en ese momento, el quale de su vivencia visual. La cualidad del olor de la rosa que le llega en ese momento, es decir, su suave aroma, constituye otro quale. Los qualia son, en la

filosofía, los clásicos ejemplos de las características, accesibles desde la perspectiva interior, de la vivencia consciente. Como dice Sloman, «algunos de los sistemas que hemos desarrollado descubrirán probablemente en sí mismos los fenómenos que llevaron, en otros tiempos, a los filósofos a hablar de los qualia sensitivos y de otros rasgos de la consciencia».

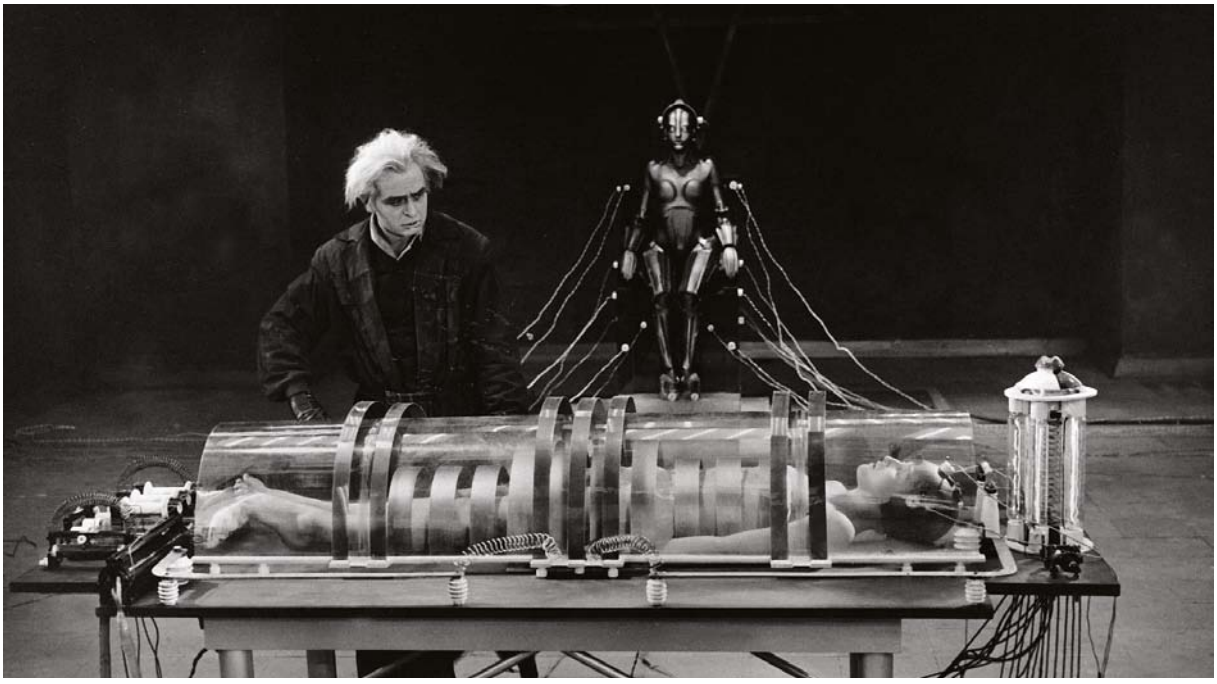
El modelo de Bernard Baar, del Instituto de Neurociencias de San Diego, tiene muy en cuenta que el cerebro funciona de forma diferente de la propia de una máquina informática. Según su «teoría de la memoria de acceso inmediato global», la consciencia sería un fenómeno que aparece siempre que algunos estímulos sensoriales (imágenes o sonidos) activan funciones concurrentes del cerebro; por ejemplo, la memoria del miedo o la alegría, entre otras emociones. De la competición de estas actividades neuronales transitorias resulta la acción que, de momento, parece la más sensata.

Stan Franklin, de la Universidad de Memphis, ha trasladado la teoría de Baar a un programa informático llamado «adaptadores inteligentes distribuidos» (IDA, por sus siglas en inglés). Cada adaptador —un subprograma— representa uno de los mecanismos neuronales concurrentes del modelo de Baar. Franklin desarrolló, con su IDA, un *software* para la marina de guerra norteamericana; debía servir para facilitar la toma de decisiones difíciles y complicadas, del tipo «cómo y dónde se han de acomodar los militares que vuelven del frente». La tarea requiere un alto grado de conocimiento, comprensión y sensibilidad; al fin y al cabo, hay que tener en cuenta la situación individual de los soldados. Como sucede con la retroalimentación que reciben los humanos cuando llevan a cabo, bien o mal, una tarea, el IDA se modula con las reacciones de sus usuarios: según la reacción, el sistema modifica los valores prioritarios de cada una de las reglas que se habían puesto en juego para la tarea que hay que evaluar. El IDA aprende, pues, de sus errores.

El entorno crea consciencia

Rodney Cotterill, de la Universidad Politécnica de Dinamarca, sita en los aledaños de Copenhague, parte de modelos biológicos para desarrollar máquinas inteligentes. Ayudándose de procedimientos gráficos (como la tomografía funcional de resonancia magnética) construye imágenes de cerebros que él analiza para identificar las interacciones neuroquímicas; en su opinión, estas son esenciales para la consciencia. Programa, en un ordenador, simulaciones de las interacciones, para repetir después en el modelo cómo podría surgir la consciencia.

Para Cotterill resulta determinante la manera en que un ser vivo estudia su entorno y reacciona ante él, es decir, sus planes de acción. En el curso de la evolución de los organismos, afirma, el ambiente ha sido cada vez más polifacético. Para poderlo controlar hubieron de amoldarse los planes de acción correspondientes. A partir de unos reflejos rudimentarios se habrían desarrollado, al inicio, modelos de reacción algo más complejos y, tras estos, a lo largo de millones de años, lo haría la capacidad de pensar conscientemente.



DEFD MOVIES

En *Metrópolis*, film clásico de Fritz Lang (1926), las máquinas humanoides tienen un papel importante. Pero María, obra de Rotwand, el inventor chiflado, se rebela contra su creador y persigue sus propios objetivos.

Los cinco axiomas de la consciencia

Axioma 1: Sentido del lugar

Las neuronas que procesan la información sensorial (estímulos acústicos, visuales y otros) se distinguen del resto de las células nerviosas. Las neuronas visuales, por ejemplo, deben reflejar no solo el mundo en el que nos hallamos, sino también proyectarnos hacia el mundo exterior. Se habla de que estas células nerviosas copiadoras están «encadenadas» con las acciones del cuerpo. Cuando miramos un objeto en un espacio tridimensional, la percepción se refiere siempre a nuestra posición momentánea. Por ejemplo: estoy de pie en la puerta y la mesa está en el rincón derecho de la sala. Solo por eso nos es posible desarrollar una consciencia del mundo y de nuestro lugar en él.

Axioma 2: Poder de representación

Aunque cerremos los ojos, no por eso desaparece el mundo «de ahí fuera». Más aún: podemos representarnos con todo detalle no solo los mundos conocidos, sino también los que aún no hemos visto. La lectura de una novela puede provocar imágenes que son tan vivas como los recuerdos de experiencias reales. Estas representaciones surgen porque las neuronas copiadoras se hallan conectadas entre sí por nudos de retroalimentación. Por tanto, no solo reaccionan ante estímulos sensoriales de fuera, sino también a señales de otras neuronas copiadoras, con las que establecen nexos.

Cuando miro el perro del vecino, cada una de las neuronas que participan en la elaboración de las impresiones visuales representa un fragmento minúsculo del perro. Pero, al mismo tiempo, estas neuronas copiadoras aprenden a excitarse sin el estímulo óptico inmediato; se activan las células nerviosas que representan los recuerdos del perro. Después se estimulan recíprocamente las neuronas copiadoras y permiten que reaparezca del ojo interno la imagen del can. Con este bucle de retroalimentación podría explicarse la conjugación de nuestros pensamientos y representaciones.

Axioma 3: Atención dirigida

Nuestros ojos se mueven sin cesar sobre el mundo exterior. A partir de la información visual, se elabora, con ayuda de las señales de la musculatura ocular, una representación de la realidad. Ahora bien, qué miramos, hacia dónde dirigimos nuestros ojos, no es en absoluto casual, sino que depende del objeto de nuestra atención. Cuando contemplo una cara, querría grabarla; los ojos registran uno tras otro los rasgos relevantes: nariz, boca y frente. En otras palabras, la musculatura ocular desemboca no solo en el cómputo de representaciones; la demanda de representaciones algo más completas determina también lo que harán después estos músculos.

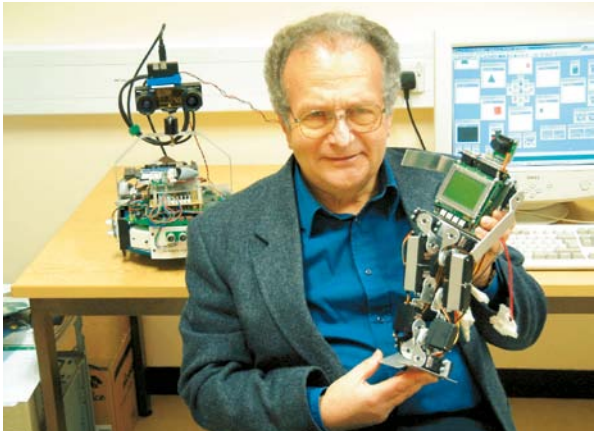
Lo mismo vale para casi todas las acciones que ejecutamos. Nuestros pensamientos (las representaciones) no son simples reflejos pasivos de lo que ocurre en el entorno, sino que se originan siempre a partir del ciclo acción-representación-acción.

Axioma 4: Planificación

Las neuronas procesan no solo recuerdos estáticos como la imagen del perro, sino que pueden también aprender y reflejar secuencias de informaciones sensoriales, tales como las notas de una canción o las palabras de un poema. Esta habilidad, junto con la capacidad de representación del axioma 2, permite a nuestro cerebro examinar a fondo el escenario permanente de «qué sería si...». Incluso cuando estamos sentados tranquilos, sin mover un solo músculo, podemos simular mentalmente qué reacciones se derivarían de nuestras acciones. Estos pronósticos desempeñan una función decisiva en la planificación de nuestras acciones.

Axioma 5: Decisiones y sentimientos

¿Cómo nos decidimos a actuar precisamente ahora? Aquí entran en juego los sentimientos. Al aprender, se asigna un valor cualitativo a una secuencia recordada. Si una serie de acciones tuvieron un resultado positivo, entonces se refuerzan las conexiones nerviosas que fueron responsables de este resultado; el recuerdo se refuerza. Los planes, que según el axioma 4 se originan en nuestra representación, confieren valores sobre cuya base se tomará después la decisión de poner en práctica dichos planes. Juicios de valor como «excitante», «provocar miedo» o «agradable» son patrones neuronales de actividad que no representan nada real, pero que experimentamos. A estas percepciones las llamamos «sentimientos». Nos ayudan a decidir qué ideas y planes de acción son buenos para nosotros y cuáles malos.



IGOR ALEKSANDER

A Igor Aleksander le ayudan sus robots a buscar las raíces del pensamiento consciente.

Todas las estructuras cerebrales, prosigue, se han originado solo porque le facilitan al organismo la interacción con el entorno; es el caso del cerebelo. Impide que percibamos los estímulos sensoriales que tienen su origen en los movimientos del propio cuerpo (por ejemplo, al tragar) y que nos distraerían de los estímulos exteriores más importantes. Cotterill ha elaborado un mapa del cerebro, en el que sobresalen las zonas que desempeñan una función en el procesamiento de los planes de acción. Hace las veces de un proyecto de un sistema informático que ha de desarrollar una consciencia por medio de la interacción con el usuario.

Pentti Haikonen, del Centro de Investigación de Nokia, profundiza más en los fundamentos neurofisiológicos de la consciencia. Tiene en cuenta que en el cerebro se conectan entre sí un número ingente de neuronas. Si se quiere reproducir adecuadamente la actividad de diferentes áreas, los modelos de partes del cerebro (como el cerebelo) deben incluir también muchas neuronas artificiales conectadas unas con otras. Parece que una fracción de los más de cien mil millones de neuronas de nuestro cerebro son responsables de crear en nuestro órgano del pensamiento una especie de representación duradera del mundo exterior. Esta imagen persistente se halla codificada en los impulsos electroquímicos de las neuronas y no desaparece ni siquiera cuando cerramos los ojos y nos tapamos los oídos. Además, determinadas neuronas compensan algunos movimientos propios, como los de los ojos. Todo ello nos posibilita desarrollar un sentimiento interno del mundo real, a pesar del flujo, siempre cambiante, de las impresiones sensoriales que nos invade. Por eso, en mi propio proyecto de una máquina inteligente, parto del supuesto de que el cerebro posee una representación, una copia neuronal, hasta de la más pequeña sensación interna.

Para que pueda aparecer la consciencia, tales representaciones deben gozar, al menos, de cinco propiedades relevantes.

- Primero, se da un sentido del lugar que me hace sentir que me hallo instalado en un «mundo exterior».
- Segundo, tengo consciencia del pasado. Sé que pueden darse representaciones del pasado simultáneas con las del presente.
- Tercero, puedo concentrarme. Solo seré consciente de aquello a lo que dirija mi atención.
- Cuarto, puedo hacer pronósticos y forjar planes. Puedo simular, ante mi ojo mental, escenarios alternativos, que me muestran cómo podría reaccionar el mundo a mis acciones.
- Quinto, puedo tener sentimientos; y estas emociones me ayudan a decidir cuáles de mis planes y de mis ideas son buenas para mí y cuáles perjudiciales.

Estos cinco axiomas deberían poder copiarse en las redes neuronales artificiales, aunque fueran aproximaciones sencillas de la forma en que trabajan las células cerebrales. Hasta ahora, hemos construido máquinas que integran en sí los cuatro primeros axiomas. El quinto (la emotividad) reviste mayor complejidad, pero estamos trabajando en ello.

En la búsqueda por las raíces de la consciencia, nuestros «cerebros de silicio» muestran una ventaja notable: las representaciones producidas en el modelo del ordenador aparecen en la pantalla; conocemos, pues, la ubicación exacta de los módulos y podemos descifrar sus mensajes. Hoy eso es imposible en un cerebro real; hasta los procedimientos gráficos más precisos representan solo burdamente las zonas activas. Los modelos funcionales de las representaciones sensoriales, de la memoria, la atención y planificación circulan ya por nuestros ordenadores.

Aprender como infantes

Para someter a prueba nuestra hipótesis según la cual la consciencia depende, en buena medida, de la interacción con el entorno, construimos un robot móvil, al que dotamos con una parte de los cuatro primeros axiomas de la consciencia. Después de muchos ejercicios y tras bastante tiempo, el robot aprendió a desarrollar cierto interés por objetos de su alrededor: planifica sus movimientos de forma que pasa de un objeto a otro y, de ese modo, obtiene algo así como una imagen interna de su «mundo».

La construcción de máquinas como esta, ¿nos ayuda a entender de verdad cómo se desarrolla el pensamiento consciente y qué significa tener consciencia? Creo que sí. Por supuesto que tales robots son infinitamente menos conscientes de su entorno de lo que lo soy yo del mío. Pero una vez que se hayan instalado los cinco mecanismos axiomáticos y funcionen, ¿con qué razones se les podría negar una porción embrionaria de consciencia? También los recién nacidos han de desarrollar la capacidad de pensar conscientemente en interacción con el entorno.

¿Bastan los cinco axiomas? Cuando pienso qué criterios importan para mi propia pretensión de tener consciencia, me inclino por aceptar que esos cinco constituyen un mínimo necesario. Queda abierto a otros ampliar la lista.

En un futuro, quizá no muy lejano, una consciencia mecánica podría ser una ayuda cotidiana para ahondar pragmáticamente en la consciencia humana. ¿Por qué no podrían seguir evolucionando estas máquinas, con nuestra colaboración, tal como hemos hecho nosotros en el curso de la filogenia? Se habría hecho realidad el mundo visionario de Spielberg. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 9

PARA SABER MÁS

How to build a mind. I. Aleksander. Weidenfeld & Nicholson, Londres, 2000.

Enchanted looms: Conscious networks in brains and computers. R. Cotterill. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

AUTOCONSCIENCIA Todo individuo posee una imagen de sí mismo estable y difícil de modificar. ¿De qué sirve tener un yo? Entre otras cosas, nos posibilita el control de los sentimientos y las acciones

Una mirada al interior

UWE HERWIG

GEHIRN UND GEIST / MEGANIM (fotocomposición); FOTOLIA / DANIEL DASH (retrato)

Las facetas del yo son tan numerosas como las influencias que conforman al ser humano. Sin embargo, consideramos el yo como nuestra referencia psíquica por antonomasia.

La señora K. se pregunta quién es en realidad. Desde hace meses, esta mujer de 37 años se siente extraña. A menudo le parece encontrarse al lado de sí misma. Su familia, su profesión y su vida entera carecen de sentido. La señora K. discurre mucho y padece angustia. En ocasiones le sobrevienen ataques de cólera, sin motivo alguno, hacia sus hijos; acto seguido se recrimina haber perdido el control. Piensa en suicidarse.

El señor M. se cree la persona escogida para salvar al mundo. Se considera alguien extraordinariamente dotado. Durante las noches se jacta de su capacidad para establecer un nuevo y grandioso orden mundial; presenta sus elucubraciones por escrito a varias editoriales para que las publiquen. A pesar de que tiene deudas contraídas, se compra un coche deportivo caro. El señor M. se siente tan bien y tan seguro de sí mismo como nunca antes se había sentido.

Ambos casos son solo dos ejemplos de lo que puede suceder cuando se altera la percepción del «sí mismo». Los trastornos psíquicos como los que padecen la señora K. y el señor M. (depresión y manía, respectivamente) distorsionan la noción que tienen de sí mismos, cuando la percepción realista del sí mismo resulta esencial para una psique sana. A pesar de que a menudo puede resultar difícil comprender el propio yo, todos tenemos una idea intuitiva de quiénes somos.

Los neurocientíficos tratan de encontrar las raíces cerebrales del sí mismo por dos razones principales. En primer lugar, porque pueden ser de gran utilidad para entender y tratar los trastornos psíquicos; segundo, porque pueden proporcionar una enorme ayuda para encontrar la respuesta a un viejo dilema del ser humano: ¿para qué poseemos en realidad un yo? ¿Por qué no somos simplemente autómatas biológicos carentes de consciencia sobre nosotros mismos y su relación con el entorno, seres que algunos neurofilósofos —con cierto desdén— denominan «zombis»?

En la experiencia subjetiva existe, por lo general, una clara frontera entre lo interno y lo externo. Los pensamientos y los sentimientos, los motivos y los recuerdos los percibimos como pertenecientes a nuestra mismidad. Cuando nos ponemos en el lugar de otra persona e inferimos sus deseos y sentimientos, tampoco confundimos estos con los propios. La separación entre el yo y el resto del mundo parece ser, por tanto, el primer rasgo importante del sí mismo.

En síntesis:
El sí mismo es... el cerebro

1 Todas las personas poseemos una consciencia para procesos internos, como los pensamientos, los sentimientos o los recuerdos. Estos se perciben estables y propios, excepto cuando se padecen ciertos trastornos psíquicos.

2 Numerosas áreas cerebrales que presentan alguna relación con la consciencia del yo se encuentran en la línea media cortical de ambos hemisferios.

3 La percepción de sí mismo posibilita el control de las emociones y de los actos impulsivos. También se puede entrenar.

Estabilidad a pesar de los cambios

La segunda razón corresponde a la estabilidad. El sí mismo constituye un armazón consistente en el que se disponen todos nuestros pensamientos, sentimientos y experiencias. Lo curioso al respecto es que, a la vez que experimentamos el propio yo como algo constante, este yo se encuentra sujeto a continuos cambios: cada nueva experiencia nos forma, tanto biográfica como biológicamente. De igual forma que el cuerpo se modifica continuamente mediante su metabolismo, el sí mismo también experimenta cambios. Numerosos factores internos y externos lo moldean: desde la educación y la socialización, hasta las experiencias cotidianas en la edad adulta. Tales factores determinan la lectura de la información genética y, con ello, el establecimiento de conexiones sinápticas o la aparición de nuevas neuronas en el cerebro. Ello conduce a pensar que la constancia del sí mismo no surge de forma automática, sino que constituye un proceso activo de nuestro encéfalo. Mas ¿cómo se produce? ¿Para qué sirve?

Una ojeada al desarrollo de concepto del yo en los niños pequeños proporciona las primeras pistas. Entre los tres y los cinco meses, los bebés controlan sus movimientos corporales más o menos de forma segura; alre-

¿Para qué poseemos un yo? ¿Por qué no somos simplemente autómatas biológicos carentes de consciencia sobre nosotros mismos?

dedor del año y medio de edad, los pequeños empiezan a reconocerse en el espejo; a partir de los dos años utilizan ya conceptos como «yo» y «mi», y a los tres años nombran algunas sensaciones emotivas («Estoy triste»). En la enseñanza primaria aumentan las comparaciones con los demás. Comienza la edad en la que se miden las fuerzas; cada vez va surgiendo con mayor intensidad el sentimiento de la autovaloración. Los jóvenes y los adultos jóvenes adquieren finalmente una identidad personal madura a partir de la adquisición de roles sociales más específicos y diferenciados.

Un crecimiento de tipo explosivo

En paralelo a las etapas de desarrollo se establecen las conexiones neuronales. En el momento del nacimiento existen solo unas pocas conexiones sinápticas entre unos 100.000 millones de neuronas. Hasta el sexto año de vida se produce un crecimiento explosivo del cableado sináptico, el cual se torna más estable. En el proceso también desaparecen las conexiones no utilizadas; en cambio, se consolidan las establecidas mediante las experiencias significativas o repetidas.

El neurólogo Antonio R. Damasio, de la Universidad de Iowa, estableció a mediados de la década de los noventa del pasado siglo un modelo jerárquico del sí mismo con tres niveles. El nivel inferior, el «proto sí mismo», constituye la representación neuronal del organismo. A este primer e inconsciente nivel le corresponde, sobre todo, el mantenimiento de las funciones corporales generales y el balance bioquímico interno (la homeostasis). El tronco cerebral, el mesencéfalo y el hipotálamo son los encargados de ello. Solo cuando aparecen problemas en el escalón inferior se da aviso a los centros cerebrales superiores.

El nivel medio, el «sí mismo nuclear», presenta en un primer término la interacción con el medio. Aparece una inmediata consciencia del sí mismo en el aquí y el ahora. Desde el punto de vista neuronal participan, entre otras zonas, partes del diencéfalo (sobre todo el tálamo y la amígdala), la corteza singular, la ínsula y la corteza medial prefrontal. Las señales corporales generan en el sí mismo nuclear contenidos conscientes sencillos (por ejemplo, la sensación de hambre).

En la cúspide del modelo de Damasio se encuentra el «sí mismo autobiográfico». Su misión consiste en garantizar que podamos reflexionar sobre nuestro comportamiento e influir en él de manera sistemática. Para ello, según el neurólogo, se necesita una consciencia lingüística, capacidad que solo poseen los humanos. En consecuencia, los centros neuronales del lenguaje (la región de Broca y el hipocampo, que actúa como instancia intermediaria) se encuentran involucrados en la recuperación de la memoria. Es en este plano consciente donde podemos, a través de la inclusión de las experiencias previas y los objetivos actuales, sopesar los impulsos de actuación de forma racional y analítica. La corteza prefrontal en el cerebro frontal ejerce aquí de controlador interno.

El modelo de Damasio describe múltiples aspectos del sí mismo. Para investigarlos, los científicos recurren a menudo a diferenciaciones sencillas. Una muy extendida es la establecida entre los componentes corporales y los mentales (cognitivos). Las personas sentimos nuestro propio cuerpo mediante respuestas somatosensoras procedentes de la piel, las articulaciones y también del abdomen (viscerales). De especial importancia para la autopercepción resulta un área de la corteza cerebral situada en la zona de transición entre el lóbulo frontal y el parietal: la ínsula anterior, tal y como comprobaron Hugo D. Critchley y sus colaboradores, del Centro Wellcome Trust de Neuroimágenes de Londres, en 2004.

Los investigadores propusieron a una serie de voluntarios que estimaran su propia frecuencia cardiaca. Se realizó a cada uno de los probandos una tomografía por resonancia magnética mientras oían a través de unos auriculares sus propias pulsaciones, bien en tiempo real o bien con 500 milisegundos de retraso. La tarea consistía en indicar si el propio pulso sonaba en tiempo real o a deshora. Cuanto mejor diferenciaba el voluntario entre ambas posibilidades, tanto más intensa aparecía la actividad de su región insular. Mediciones posteriores demostraron que aquellos probandos que manifestaban una especial sensibilidad corporal (se quejaban, por ejemplo, de sequedad en los ojos o de sensación de opre-

El sí mismo desde la filosofía

Desde el punto de vista de la historia de las ciencias humanas, la preocupación por el sí mismo viene de tiempos remotos. En la antigua filosofía griega surgió el pensamiento de que nuestra conducta se hallaba determinada por una psique situada tras ella. De Heráclito (540/535-483/475 a.C.) procede la máxima «Conócete a ti mismo». René Descartes (1596-1650) diferenció en su dualismo entre espíritu y cuerpo, la *res cogitans* de la *res extensa*. Ambas esferas se reunían en la hipófisis cerebral. El lema de Descartes «Pienso, luego existo» define al sí mismo como algo situado por encima de cualquier duda filosófica.

Immanuel Kant (1724-1804) sostenía que la razón humana construye su propio mundo. Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831), por su parte, vio en la idea del sí mismo la expresión de un estado evolutivo elevado de la consciencia. El psicólogo William James (1842-1910) consideró las emociones y el sí mismo a la manera reduccionista del científico natural: como funciones del cerebro. Sigmund Freud (1856-1939) concibió el inconsciente como una instancia participante en los procesos psíquicos a la que debía tenerse en cuenta en las modificaciones terapéuticas del sí mismo.

sión en el estómago) presentaban una corteza insular mayor que el resto.

Los aspectos cognitivos del sí mismo, por su parte, se reflejan en la corteza prefrontal medial. En un experimento llevado a cabo en 2006 por Joseph Moran y su equipo, en la Universidad Dartmouth de Hanover, en Estados Unidos, los participantes debían juzgar si una serie de adjetivos se correspondían con ellos mismos o bien con algún conocido suyo. Cuando las palabras coincidían con su propia persona, la actividad en las regiones frontales cerebrales aumentaba de forma intensa, con independencia del valor emocional de los adjetivos, esto es, sin importar si describían rasgos positivos o negativos.

Excitación por contemplarse

Resultados similares obtuvieron Thilo Kircher, de la Clínica Psiquiatra Universitaria de Marburgo, y Stephen M. Platek y otros colaboradores, de la Universidad de Pensilvania en Philadelphia. Los voluntarios observaron fotografías de su propio rostro, así como de otras personas conocidas y desconocidas, mientras se les realizaba un escáner cerebral. Las neuroimágenes demostraron que al ver la propia imagen se activaban con mayor intensidad la corteza prefrontal medial, la ínsula y las áreas corticales parietales de los probandos. Dichas regiones se estimulaban incluso ante la mera expectativa de contemplar su rostro de inmediato, es decir, antes de ver la fotografía, según informó Anette Brühl, de la Universidad de Zúrich, con motivo del Congreso de la Sociedad Alemana de Psiquiatría, Psicoterapia y Neurología celebrado en Berlín en 2008.

La diferenciación entre «yo» y «otros» ofrece a los investigadores un buen punto de partida para seguir la pista a la representación neuronal del sí mismo. Al parecer, el cerebro diferencia de manera precisa los estímulos propios de los externos. Ello causa, por ejemplo, que una persona no pueda hacerse cosquillas a sí misma, a pesar de que los estímulos aplicados a la piel sean los mismos que cuando se las provocan otros. De igual forma, no somos conscientes, en general, del sonido de nuestra voz, a pesar de que, como cualquier otro ruido, nos llega al oído desde el exterior.

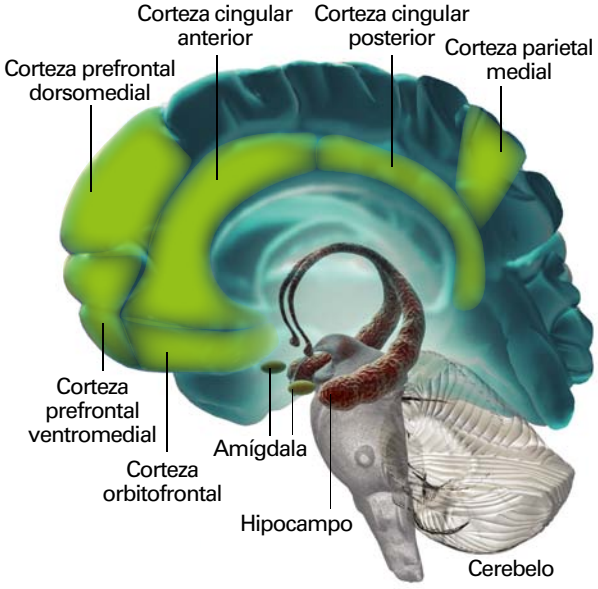
Knut Schnell, de la Clínica Psiquiátrica Universitaria de Bonn, ha investigado este punto con más detalle. Según los resultados de su grupo de trabajo, percibimos los estímulos fruto de nuestra propia actuación de una forma más débil que los producidos de forma externa. En un estudio con neuroimágenes, Schnell demostró que al observar los probandos un vídeo en el que aparecían actos protagonizados por ellos mismos entraba en funcionamiento toda una red de áreas corticales prefrontales, así como del lóbulo parietal inferior, reacción que no ocurría cuando veían acciones efectuadas por otras personas.

¿Cómo puede explicarse tal proceso? Se conoce la función que desempeña la corteza prefrontal como instancia de planificación y control de nuestros actos. Para ello, envía una copia de su programa de movimientos a regiones concretas del lóbulo parietal, las cuales se ocupan de la percepción de los movimientos ajenos. Mediante esta autorregulación casi puede eliminarse la información autogenerada, lo que se traduce en que la intensidad de la percepción de la actividad propia se debilita de forma considerable. En los pacientes con psicosis agudas, la diferenciación entre lo propio y lo ajeno puede hallarse alterada, con el curioso efecto

Mi cerebro y yo

La representación neuronal del sí mismo requiere áreas de diversas zonas del cerebro. Tales áreas resultan sobre todo numerosas en la parte media de los hemisferios o línea media cortical. Entre las estructuras destaca, junto a la corteza orbitofrontal y la cingular, la corteza prefrontal medial. Dicha región se divide en una parte ventral (orientada hacia el vientre) y otra dorsal (orientada hacia la columna vertebral). También algunos campos del lóbulo parietal (corteza parietal medial) y la amígdala se activan con estímulos en relación al yo, como han demostrado los experimentos.

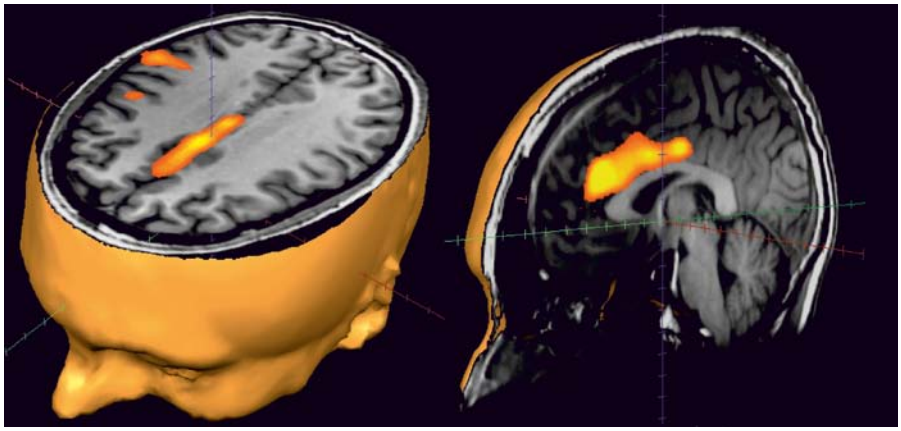
Corte medial del cerebro



GEHIRN UND GEIST / MEGANIM

EL AUTOR

Uwe Herwig es director del grupo de trabajo de regulación de las emociones en la Clínica Psiquiátrica Universitaria de Zúrich. También es profesor extracurricular de la Universidad de Ulm.



CORTESÍA DEL AUTOR

En unos experimentos llevados a cabo por el autor, los voluntarios miraban fotografías en las que aparecían ellos u otras personas. Cuando se observaban a sí mismos se estimulaba la corteza cingular (*amarillo*) de forma más intensa.

secundario de que los tocamientos que el sujeto realiza sobre su propia piel los percibe igual de intensos que si se los produjera un extraño, por lo que puede provocarse cosquillas a sí mismo.

Todo ello conduce a la pregunta de por qué se ha desarrollado el sí mismo. ¿Qué ventajas tiene un organismo «autorreflexivo» frente a uno alternativo que no es consciente de su mismidad y, en consecuencia, no posee ningún yo? La regulación de los sentimientos podría tener aquí un gran papel, pues en este punto la autopercepción desempeña una importante función: nos permite ser conscientes de nuestros sentimientos, ponderarlos y, dado el caso, modularlos. El propio yo sirve con ello de una suerte de superficie de proyección.

Control de los sentimientos

Continuamente recibimos estímulos con contenido emocional: desde el taimado perro de los vecinos, pasando por los enervantes compañeros de trabajo, hasta la añorada tarde de cine con los amigos. Regular nuestras reacciones emocionales, así como los impulsos conductuales que de ellas se derivan, constituye una capacidad importante; sin ella resultaría imposible una cohabitación social compatible. Las áreas de la corteza prefrontal también desempeñan aquí una función decisiva, ya que modulan la actividad que parte de la amígdala, de tal manera que pueden inhibir la excitación emocional.

Pero ¿cómo nos las arreglamos en el día a día con nuestros sentimientos? Una estrategia sencilla consiste en apechar con ellos. No obstante, en la práctica, muchas veces este método no resulta viable. Otra posibilidad consiste en reprimir las expresiones emocionales (técnica de supresión expresiva) poniendo «buena cara» ante situaciones onerosas o que provocan angustia. Según han demostrado algunos estudios, las señales mímicas o motoras de cualquier otro tipo modifican por completo la situación anímica. Sin embargo, la represión continuada de las emociones puede incrementar el estrés psicológico subjetivo, así como la agitación a la que va inevitablemente unido.

Una tercera variante, más favorable, es la «reevaluación cognitiva». Su finalidad estriba en una relajación de la vida emocional y la reducción de las reacciones fisiológicas (enlentecimiento de la frecuencia cardiaca, por ejemplo). A partir de los procedimientos de neuroimagen, Kevin Ochsner y James Gross, de la Universidad Stanford en California, mostraron en 2005 los correlatos neuroanatómicos de la reevaluación cognitiva. Los investigadores presentaron a una serie de voluntarios sanos imágenes desagradables o neutrales. Una parte de los probandos tan solo debía dejarse impresionar por las imágenes. Los otros participantes tenían la tarea de, mediante la reevaluación intelectual, interpretarlas de tal forma que perdieran su significado negativo. (Un perro de aspecto y dientes amenazantes podía permutarse, por ejemplo, en un fiel guardián protector de la esposa.) El resultado confirmó que la reevaluación permitía reducir los sentimientos desagradables. En este caso, las áreas prefrontales laterales se mostraron sobre todo activas, mientras

LA SUTIL DIFERENCIA

El yo y el sí mismo:

El psicólogo William James (1842-1910) diferenció entre «yo» y «sí mismo». El primero sería el «conocedor». El contenido de sus conocimientos (pensamientos, deseos, preferencias, etcétera) constituiría por su parte el sí mismo. Según otra definición, el yo sería la parte consciente del sí mismo, algo así como la punta del iceberg.

Emoción y sentimiento:

Algunos autores describen la emoción como un estado de excitación corporal básico. De la valoración mental de ese estado surge el sentimiento. En el lenguaje cotidiano solemos utilizar ambos conceptos como sinónimos.

que se inhibía la actividad de la amígdala y de la corteza orbitofrontal.

En una investigación que desarrollamos en 2007 solicitamos a individuos sanos que emplearan dicha estrategia en la expectativa de imágenes desagradables. Para ello se situó a los probandos ante una fila de imágenes desagradables y se les solicitó que imaginasen hallarse en un escáner como si fuera parte de un experimento inocuo para ellos. Los sujetos que, según sus propias declaraciones, conseguían cumplir las instrucciones de forma satisfactoria, mostraban una actividad aumentada en la corteza prefrontal medial y dorsolateral, pero disminuida en la amígdala. Ello se producía asimismo cuando los voluntarios desconocían si iban a ver un estímulo agradable o desagradable. Por tanto, la estrategia también resulta útil en situaciones en las que se desconoce lo que va a pasar a continuación.

Depende de la valoración

El control de las emociones es posible hasta cierto punto. No en vano constituye un componente en numerosas técnicas psicoterapéuticas. El principio básico se remonta a tiempos antiguos. Ya Marco Aurelio escribió en sus *Meditaciones* que el gravamen anímico (lo que nosotros llamaríamos el «estrés psíquico») no se debía tanto a los acontecimientos externos en sí, sino a la valoración que hacemos de ellos. El ser humano posee en todo momento el poder de modificarla.

Al parecer, esta habilidad no resulta tan sencilla. Con frecuencia fracasamos en el intento de mantenernos bajo control. Los sentimientos nos abruman, por más que nos llamemos a la razón. En el caso de miedos profundamente arraigados (como la aracnofobia), no resulta de gran ayuda el simple hecho de decirnos: «Pero ¡si no se trata más que de un animalillo inofensivo!». Con todo, somos capaces de entrenar las regiones cerebrales responsables del control cognitivo.

Técnicas de meditación, como la atención plena, promueven la percepción consciente de las propias emociones y de las sensaciones corporales, al tiempo que ayudan a desprenderse interiormente de ellas. La atención plena implica una consciencia deliberada, atenta y no valorativa del momento. La psicoterapia basada en esta práctica ha experimentado en los últimos años un auge notable.

En la actualidad pueden investigarse los procesos neurobiológicos asociados. Al parecer, se activan las mismas regiones cerebrales que en la regulación emocional. J. David Creswell, psicólogo de la Universidad de California en Los Ángeles, determinó en 2007, mediante encuestas, la inclinación natural de unos voluntarios de mantenerse atentos en su vida cotidiana. (Tal capacidad puede constatarse a partir de la sensibilidad ante las propias sensaciones corporales.) A continuación, los probandos debían ejecutar una tarea mientras se hallaban en el escáner. La actividad consistía en asignar a una serie de imágenes de expresiones faciales emocionales su correspondiente palabra afectiva (alegría, tristeza, asco...). Como tarea de control debían señalar asimismo el sexo de la persona que aparecía en la fotografía.

Los participantes especialmente atentos mostraban una actividad prefrontal aumentada. A su vez, su amígdala se estimulaba con menor intensidad que en el resto de los probandos. Al parecer, el área prefrontal enviaba señales de control inhibidoras a la amígdala.

Con ayuda de las técnicas de neuroimagen podrían conseguirse avances considerables en este ámbito. Supongamos que pudiera enviarse a los sujetos que llevan a cabo estas técnicas mentales de meditación una retroalimentación en tiempo real de la actividad de su propio cerebro, mostrándoles, por ejemplo en una pantalla, el patrón de excitación cerebral registrado. De este modo, revisarían los «resultados de sus entrenamientos» mediante la actividad cerebral modificada, de manera que aprenderían a controlarse con mayor facilidad.

Christian Plewnia, de la Clínica de Psiquiatría y Psicología de Universidad de Tubinga, presentó un intento de este tipo en el Congreso de la Sociedad Alemana de Psiquiatría, Psicoterapia y Neurología celebrado en Berlín en 2008. Junto con otros institutos, su grupo de trabajo investigó si esa especie de neurorretroalimentación favorecía la autorregulación emocional. Los nuevos estudios permiten sospechar una respuesta positiva, aunque por el momento la técnica resulta costosa para su empleo en el tratamiento cotidiano.

Pese a que todavía puede faltar tiempo para que tales métodos proporcionen ayuda a personas como la señora K. o el señor M., la investigación de las bases neuronales del sí mismo ha proporcionado ya algunos resultados sorprendentes. Entre otras cosas, ha mostrado que la imagen que nos hacemos de nosotros mismos es resultado de nuestro cerebro, al que podemos influir de forma positiva. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 50

PARA SABER MÁS

Neuroanatomical evidence for distinct cognitive and affective components of self. J. M. Moran et al. en *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 18, págs. 1586-1594, 2006.

Modulation of anticipatory emotion and perception processing by cognitive control. U. Herwig et al. en *Neuroimage*, vol. 37, págs. 652-662, 2007.

Trait anxiety and impoverished prefrontal control of attention. S. J. Bishop en *Nature Neuroscience*, vol. 12, págs. 92-98, 2009.

Neural conrrelates of altered general emotion processing in social anxiety disorder. A. B. Brühl, M. Rufer, A. Delsignore, T. Kaffenberger, L. Jäncke, U. Herwig en *Brain research*, vol. 378, págs. 72-83, 2011.

Neural correlates of personality dimensions and affective measures during the anticipation of emotional stimuli. A. B. Brühl, M. C. Viebke, T. Baumgartner, T. Kafeenberger, U. Herwig en *Brain Imaging Behaviour*, vol. 5, págs. 86-96, 2011.

FENOMENOLOGÍA El pampsiquismo actualizado ofrece enseñanzas sobre cómo entender la experiencia de uno mismo. Esta antigua doctrina se basa en la universalidad de la consciencia

La teoría de la información integrada

CHRISTOF KOCH

Para cada dentro hay un fuera, y para cada exterior existe un interior; aunque diferentes, son inseparables.

—Alan Watts,
Man, nature and the nature of man, 1991

Todos los animales (abejas, pulpos, cuervos, grajos, urracas, atunes, ratones, ballenas, perros, gatos y monos) poseen la facultad de conducirse de formas complejas, aprendidas o no estereotipadas. Si tales actos los ejecutara una persona, se asociarían con la consciencia.

Encontramos en muchas especies conductas precursoras de comportamientos que juzgamos como exclusivos de los humanos. Las abejas, por ejemplo, son capaces de reconocer rostros concretos a partir de fotografías, pueden comunicar a sus hermanas la ubicación y la calidad

de fuentes de alimento mediante la «danza del vientre» y logran recorrer complejos laberintos merced a indicios que almacenan en la memoria a corto plazo. Estos insectos pueden volar varios kilómetros y regresar a su colmena; una notable proeza navegatoria. Asimismo, la entrada de cierto aroma en la colmena puede llevar a las abejas a que vuelvan al lugar donde hallaron antes ese olor. Es famosa la descripción de este tipo de memoria asociativa que plasmó Marcel Proust en su obra *En busca del tiempo perdido*. Otros animales son capaces de reconocerse a sí mismos, saber cuándo otros de su especie los observan, además de mentir o disimular.

Algunas personas ven en el lenguaje un rasgo único y definitorio de la consciencia. Este argumento resulta muy conveniente para afirmar que solo *Homo sapiens* dispone de ella. No obstante, únicamente los razonamientos pobres permiten negar la consciencia a los animales, a los bebés preverbales y a quienes sufren un trastorno de afasia grave; seres, todos ellos, mudos.

Nada menos que Charles Darwin, en el último de los libros que publicó un año antes de su muerte, indagó hasta qué punto las lombrices de tierra «actuaban de forma consciente y cuánta potencia mental poseían». Tras estudiar el trofismo y comportamiento sexual de estos invertebrados durante varios decenios —Darwin era un naturalista con unas increíbles dotes de observación—, concluyó que no existe un umbral absoluto entre animales inferiores y superiores, humanos incluidos, que asigne elevados poderes mentales a unos, pero no a otros.

El sistema nervioso de todas esas criaturas es de gran complejidad. Las proteínas, los genes, las sinapsis, las células y los circuitos neuronales que los constituyen resultan tan complicados, diversificados y especializados como los que se observan en el cerebro humano. En pocas palabras, es difícil hallar alguna característica excepcional de este último. Ni siquiera su volumen es demasiado especial: elefantes, delfines y ballenas poseen cerebros de mayor tamaño. Solo un neuroanatomista experto, provisto de un microscopio, puede distinguir una muestra pequeña de tejido cortical de un ratón del de un mono o un humano. Los biólogos subrayan esta continuidad estructural y conductual al distinguir entre animales *humanos y no humanos.* Todos somos hijos de la naturaleza.

A falta de un «proyecto Rubicón» que, de manera clara y taxativa, diferencie los seres y los comportamientos simples de los complejos, la creencia de que solo los humanos pueden ser conscientes de lo que sienten se antoja ridícula. Una presunción más razonable enuncia que, de no demostrarse lo contrario, muchos, si no todos, los organismos multicelulares experimentan dolor o placer; también pueden ver y oír los estímulos y sonidos de la vida. En el caso de cerebros de menor tamaño y menos complejos, la experiencia consciente de la criatura será, probablemente, menos matizada y diferenciada, es decir, más elemental. Tal vez, incluso un gusano perciba cierta sensación de estar vivo, por difusa que sea. Cada especie cuenta con un sistema sensorial propio adaptado a su nicho ecológico. No todos los seres vivos disponen de oídos para oír y de ojos para ver. Pero todos son capaces de experimentar sentimientos subjetivos de algún tipo.

Los sistemas complejos

Literalmente, el pampsiquismo sostiene que todo posee una mente. Trátese de un cerebro, un árbol, una piedra o un electrón. Todo cuanto tiene existencia física presenta un aspecto mental interior. El primero es objetivo, accesible a todos; el segundo, fenoménico, solo accesible al sujeto. Tal es el sentido de la cita de Alan Watts, filó-

La teoría de la información integrada, versión moderna del pampsiquismo, rompe con la creencia de que la capacidad de sentir y ser consciente de uno mismo pertenece en exclusiva a los humanos. Especies tan dispares como perros y abejas también pueden tener consciencia.

GETTY IMAGES (*humano*); GALLERY STOCK (*perro*); THINKSTOCK (*abeja*)

sofo británico y erudito del budismo, que introduce el presente artículo. Sin embargo, aquí sostendré un punto de vista más limitado y matizado: que cualquier sistema complejo, en el sentido que más adelante se define, posee los atributos fundamentales de una mente y un mínimo de consciencia, esto es, siente de alguna forma que es un sistema. Si este se descompone, la consciencia cesa, puesto que un sistema roto no siente que es algo. Por otra parte, cuanto mayor es su complejidad, más diverso resulta el repertorio de estados conscientes que puede experimentar.

Mi experiencia subjetiva —y presumiblemente también la de usted— basada en el cartesiano «pienso, luego existo» constituye una certidumbre innegable, lo bastante robusta para sostener el peso de la filosofía. Pero ¿de dónde proviene esa experiencia? En el materialismo se apela al «emergentismo» para explicar cómo los sistemas nerviosos simples carecen de consciencia, la cual emerge a medida que aumenta la complejidad del sistema. Consideremos el carácter húmedo del agua, su capacidad para mojar superficies, la cual resulta de interacciones moleculares, los puentes de hidrógeno entre moléculas de agua cercanas. Una o dos moléculas de H_2O no mojan, pero si se reúne un gran número de ellas en condiciones adecuadas de presión y temperatura, la humedad surgirá. Pensemos también en las leyes de la herencia genética, las cuales se fundan en las propiedades moleculares del ADN, el ARN y las proteínas. En el emergentismo se presume que, siguiendo el mismo proceso, aflorará una mente en todo cerebro que sea suficientemente complejo.

No obstante, lo mental es demasiado diferente para que surja de forma gradual de lo físico, de lo material. Que afloren sentimientos subjetivos a partir de materia física nos parece inconcebible, pues tropieza con un precepto básico del pensamiento físico, a saber, la ley primigenia de conservación: *ex nihilo nihil fit* («de la nada, nada adviene»). Si nada existe para empezar, añadir un poco de nada no hará que haya algo. Si un cerebro de volumen reducido no fuera capaz de sentir dolor, ¿por qué debería un cerebro voluminoso sentir el horror de una jaqueca? ¿Por qué la adición de algunas neuronas haría nacer este sentir inexpresable? Lo fenoménico procede de un reino diferente al físico y atiende a leyes distintas. No veo cómo salvar el abismo entre estados conscientes e inconscientes apelando a cerebros de mayor tamaño o a neuronas más complejas.

El progreso científico de los dos últimos siglos dificulta que se sostenga la excepcionalidad de los humanos

En síntesis: Una explicación para la consciencia

1 Todos los seres vivos son capaces de experimentar sentimientos subjetivos de algún tipo.

2 La consciencia depende de un sustrato material, pero no es reductible a él. Todo sistema que posea alguna cantidad no nula de información integrada experimenta algo.

3 Inspirada en el pampsiquisimo, la teoría de la información integrada asigna a cada estado cerebral individual una forma o espacio en el que emerge la experiencia subjetiva.

Una solución con más fundamento radica en suponer que la consciencia constituye una propiedad fundamental de ciertos tipos de sistemas complejos, definidos de un cierto modo matemático y universal, y que los sistemas complejos tienen sensación, mientras que los simples, no. Este razonamiento recuerda los argumentos de algunos científicos que estudiaron la carga eléctrica en el siglo XVIII. La carga no constituye una propiedad emergente de los seres vivos, como se pensó en un inicio, cuando se descubrió que se podían estimular con electricidad ancas de rana diseccionadas. No existen partículas sin carga que, por agregación, engendren carga eléctrica. Las partículas elementales, o bien disponen de carga o bien adolecen de ella. Así, un electrón tiene carga negativa, un protón positiva, y un fotón, el portador de luz, carga nula. En lo que a la química y la biología concierne, la carga constituye una propiedad intrínseca de estas partículas. La carga eléctrica no emerge de la materia no cargada. Según este modo de pensar, lo mismo sirve para la consciencia. La consciencia acompaña a piezas de materia organizada. Es inmanente a la organización del sistema. Constituye una propiedad de las entidades complejas y no cabe su ulterior reducción a la acción de propiedades más elementales. Nos encontramos aquí en el principio del reduccionismo.

El pampsiquismo padece, en su concepción tradicional, dos graves fallos. Uno se conoce como el problema de los agregados. Según explica el filósofo John Searle, de la Universidad de California, «la consciencia no puede extenderse sobre el universo como un barniz o una película embellecedora; debe existir un punto en el que mi consciencia termine y la suya empiece». Si la consciencia fuera ubicua, ¿por qué no habría de estimular al teléfono inteligente, a Internet o a una nación? Además, el pampsiquismo no explica por qué un cerebro sano es consciente, mientras que si se pasa por la bati-

dora, de manera que queda reducido a papilla, deja de serlo. El pampsiquismo no explica cómo se conjuntan los agregados para producir una experiencia consciente y concreta.

Percepción consciente no material

Esos argumentos de hace un siglo me llevan al marco conceptual de la teoría de la información integrada (TII), propuesta por el psiquiatra y neurocientífico Giulio Tononi, de la Universidad de Wisconsin-Madison. Según señala, la experiencia consciente constituye un aspecto fundamental de la realidad y es idéntica a un tipo particular de información: la información integrada. La consciencia depende de un sustrato material, pero no es reductible a él. En otras palabras, lo que experimento al ver un color azul aguamarina se halla vinculado a mi cerebro, pero es diferente de este.

Todo sistema que posea alguna cantidad no nula de información integrada experimenta algo. Permítase la insistencia: un sistema cualquiera, que posea información integrada, aunque solo sea un bit, tendrá una experiencia consciente, por mínima que sea.

La TII parte de dos hipótesis. Primera, que los estados conscientes presentan múltiples diferencias, pues son muy ricos en información. Podemos ser conscientes de un sinfín de cosas. Piense en cada uno de los fotogramas de las películas que ha visto. Cada cuadro, cada plano, constituye un precepto consciente y específico. Segunda, tales experiencias, una por una, se hallan integradas. No podemos forzarnos a ver el mundo en blanco y negro; sus colores constituyen una parte integrada de lo que vemos. Cualquier información de la que seamos conscientes se presenta íntegra y completa a la mente, no es posible subdividirla. Subyacen a esta unidad de la consciencia una multitud de interacciones causales entre las partes relevantes de nuestro cerebro. Si algunas de ellas llegan a fragmentarse e independizarse, como ocurre en el sueño profundo o en la anestesia, la consciencia se desvanece.

Así pues, para ser consciente hay que constituirse en entidad única, integrada, y provista de un gran repertorio de estados diferenciados. Aunque el disco de mi ordenador supere en capacidad a todos los recuerdos de mi vida, la información que contiene no aparece en absoluto integrada. Las fotografías almacenadas en él no se hallan vinculadas entre sí. El ordenador no sabe que el niño de esas imágenes es mi hijo, al que vemos en sus primeros pasos, como un desgarbado adolescente o en un adulto bien parecido. Para mi computadora, toda la información es igual de no-significante; consiste solo en un vasto tapiz de ceros y unos repartidos al azar. En cambio, yo sí extraigo significación, porque mis recuerdos están vigorosamente vinculados. Cuanto más interconectados, mayor significado adquieren.

Esas ideas pueden expresarse de manera precisa en lenguaje matemático a partir de nociones de la teoría de la información, como la entropía. En un cerebro concreto con las neuronas en un estado determinado (unas activas, mientras otras se hallan en reposo) es posible computar con exactitud el grado de integración de esta red. A partir de este cálculo se obtiene un único número, Φ [*véase* «Más mediciones, menos discursos», por Christof Koch; Mente y Cerebro n.º 37, 2009]. Expresado en bits, Φ mide el tamaño del repertorio consciente vinculado a la red de partes en interacción causal que se hallan en un estado concreto. Cuanto mayor sea la integración del sistema, mayor será su sinergia y más consciente resultará. Si las regiones cerebrales individuales se encuentran demasiado aisladas unas de otras o están interconectadas al azar, el valor de Φ será pequeño. En cambio, si el organismo presenta muchas neuronas y se encuentra

THE OPTE PROJECT / CORTESÍA DE BARRETT LYON

Este mapa de Internet muestra con colores los diferentes países y dominios en su haber. Se calcula que su número de transistores es 10.000 veces superior al de las neuronas que posee un cerebro humano. Se ignora si la integración de las conexiones en la red de redes permitiría el surgimiento de una consciencia o un sentimiento.

EL AUTOR

Christof Koch es profesor del Instituto de Tecnología de California y director científico del Instituto Allen de Ciencias del Cerebro en Seattle.

Un cerebro sano es consciente, pero reducido a papilla deja de serlo

provisto de numerosas conexiones sinápticas, su valor será mayor. El valor Φ expresa la cantidad de consciencia. La cualidad de cada experiencia (la diferencia en la manera de sentir el rojo y el azul o de cómo un color se percibe de distinto modo que un sonido) la aporta la geometría informacional asociada con Φ.

La teoría asigna a cada estado cerebral individual una forma, un cristal, en un espacio de qualia de grandes dimensiones [*véase* «Los placeres de los qualia», por Volkart Wildermuth; Mente y Cerebro n.º 46, 2011]. Este cristal es el sistema visto desde el interior, la voz en nuestra cabeza, la luz en el interior del cráneo; es todo cuanto llegaremos a saber del mundo. Se trata de nuestra única realidad; el *quid* de experiencia. El sueño del comedor de lotos, la meditación de consciencia plena del monje y el agónico dolor del paciente de cáncer, cada uno es percibido de una determinada manera a causa de la forma de sus respectivos cristales en un espacio de un billón de dimensiones, una visión auténticamente beatífica. El agua de información integrada se convierte en el vino de la experiencia.

La información integrada formula predicciones concretas sobre qué circuitos cerebrales se encuentran implicados en la consciencia y sobre cuáles son actores periféricos (aunque puedan contener muchas más neuronas, su condición anatómica es distinta). Esta teoría se ha utilizado para construir un medidor de consciencia capaz de evaluar, de forma cuantitativa, si los sujetos anestesiados o con graves lesiones cerebrales (como Terri Schiavo, paciente en estado vegetativo que murió en Florida en 2005) no están conscientes o, en cambio, experimentan conscientemente dolor o molestias pero no pueden manifestarlo [*véase* «Medidor de la consciencia», por Christof Koch; Mente y Cerebro n.º 64, 2014].

Para abordar el problema de la agregación, la TII afirma que solo existen «máximos locales» de información integrada (a partir de elementos y escalas temporales y espaciales): mi propia consciencia, la consciencia de usted, sin nada intermedio. Es decir, cada persona es consciente, pero no existe una consciencia de orden superior para toda la población en su conjunto.

A diferencia del pampsiquismo clásico, no todos los objetos materiales poseen una Φ distinta de cero. Solo la tienen los sistemas integrados. Un puñado de neuronas desconectadas en una placa de Petri, un montón de arena, una galaxia o un agujero negro carecen de integración. No poseen consciencia ni propiedades mentales.

Por último, la TII no distingue entre cerebros viscosos alojados en cráneos y circuitos de silicio alojados en titanio. En tanto que las relaciones causales entre los elementos del circuito, los transistores y otras puertas lógicas generen información estructurada, el sistema se sentirá como algo. Tomemos el mayor y más complejo dispositivo de la humanidad, Internet. Consta de miles de millones de ordenadores interconectados mediante fibras ópticas y cables de cobre que rápidamente materializan conexiones específicas valiéndose de protocolos de comunicación ultrarrápidos. A su vez, cada uno de estos procesadores integra algunos miles de millones de transistores. En su conjunto, Internet contiene, tal vez, 10^{19} transistores, aproximadamente el número de sinapsis cerebrales de unas 10.000 personas. La cantidad de sus componentes supera a la de cualquier cerebro individual. Que esta red de redes se sienta a sí misma como ente es pura especulación, pero no una idea inconcebible.

Cuando hablo o escribo de pampsiquismo suelo encontrarme con miradas de incomprensión. Se trata de una creencia que contradice la intuición predominante entre las personas de que la capacidad de percibir o sentir solo pertenece a los humanos y a sus parientes más cercanos. Sin embargo, nuestra intuición también yerra cuando, de pequeños, nos explican que las ballenas no son peces, sino mamíferos, o que los antípodas no se caen por estar cabeza abajo.

El pampsiquismo proporciona una elegante explicación para el más fundamental de todos los hechos en estado puro con el que topamos cada mañana cuando despertamos: la experiencia subjetiva. La teoría de Tononi ofrece una versión del pampsiquismo científica, constructiva, predictiva y matemáticamente rigurosa, apta para el siglo xxi. Supone un paso de gigante hacia la definitiva solución del antiguo problema de mente y cuerpo. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 73

PARA SABER MÁS

Panpsychism in the West. D. Skrbina. MIT Press, 2005.

Integrated information theory of consciousness: An updated account. G. Tononi en *Archives Italiennes de Biologie*, vol. 150, n.º 4, págs. 293-329, diciembre de 2012.

Consciousness: Confessions of a romantic reductionist. C. Koch. MIT Press, 2012.

Consciousness: Here, there and everywhere? G. Tononi y C. Koch en *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* vol. 370, n.º 1688, en línea, 2015.

Suscríbete a
Mente&Cerebro

Ventajas para los suscriptores:

- **Envío** puntual a domicilio
- **Ahorro** de hasta un **21 %** sobre el precio de portada
  35 € por un año (6 números),
  65 € por dos años (12 números)
- **Acceso gratuito** a la edición digital de los números incluidos en la suscripción (artículos en pdf)

... y recibe
GRATIS
un número de la colección
CUADERNOS

www.investigacionyciencia.es/suscripciones
Teléfono: +34 934 143 344

SUBCONSCIENTE Impulsos y deseos inconscientes impelen nuestro pensamiento en formas que Freud no imaginaba

La mente inconsciente

JOHN A. BARGH

Al tratar de entender cómo funciona nuestra mente, los psicólogos llegan con frecuencia a una conclusión asombrosa a primera vista: las personas tomamos decisiones sin pensárnoslas mucho; o, mejor dicho, antes de haberlas pensado *conscientemente*. Cuando decidimos qué votar, comprar, adónde ir de vacaciones y un sinfín de otras cuestiones, los pensamientos inconscientes suelen desempeñar un papel importante. Investigaciones recientes han arrojado luz sobre la profunda influencia de nuestra mente inconsciente en las interacciones del día a día.

Uno de los estudios más renombrados que ilustran el poder del inconsciente se centró en el proceso de decisión sobre la aptitud de una serie de aspirantes a un cargo público. En una votación simulada, un grupo de personas dispuso de una fracción de segundo para examinar las fotografías, tomadas de Internet, de candidatos al Gobierno y Senado de EE.UU. no pertenecientes al estado de los probandos. A continuación, se les pedía que valorasen a los candidatos basándose en los breves atisbos de cada foto. Curiosamente, este sondeo predijo con bastante exactitud las preferencias de los votantes auténticos en los estados donde se presentaban los candidatos. Las apreciaciones sobre la aptitud, realizadas a partir de la fugaz visión de los rostros de los candidatos, pronosticaron correctamente el resultado de dos de las tres elecciones en cuestión.

El estudio sobre la influencia del inconsciente en nuestros pensamientos lleva ocupando a los científicos más de cien años. La extensa obra de Sigmund Freud (1856-1939) destacaba la consciencia como sede de los pensamientos y emociones racionales, siendo el inconsciente guarida de lo irracional. Pero en la psicología cognitiva contemporánea, la concepción freudiana del mundo ha sido remodelada hacia una dinámica psicológica menos polarizada. Parece ser que ambos tipos de procesos mentales facilitan la adaptación de nuestra especie a las cambiantes exigencias del entorno; una especie que ha sobrevivido sirviéndose de su capacidad mental para cazar un mastodonte en la Edad de Piedra, hacer frente a las justas medievales y, ya en este milenio, especular en el mundo financiero.

La psicología posfreudiana ha arrinconado los conceptos del *ello* y el *yo* para adoptar un enfoque más pragmático sobre lo definitorio del yo inconsciente. El premio nóbel Daniel Kahneman ha explicado la moderna distinción entre lo automático y lo controlado. En su libro *Pensar rápido, pensar despacio* describe los procesos del pensamiento automático como prestos, eficientes y ajenos al conocimiento consciente. Carecen, por tanto, de previa deliberación o planificación. Solo requieren un simple estímulo, como cuando nuestra mente vincula, sin apenas esfuerzo, las palabras de esta página con su significado. Los procesos controlados son de naturaleza opuesta. Exigen la participación intencionada y lenta del pensamiento consciente. Sirva de ejemplo el laborioso esfuerzo que exige la declaración de la renta.

De modo similar al *ello* primitivo y al *yo* moderador que Freud postuló, los sistemas automáticos y los controlados se complementan mutuamente, y también, a veces, entran en conflicto. Es necesario reaccionar sin pensar para no ser arrollados por un vehículo desmandado, pero también lo es dominarse para no lanzar un insulto al conductor imprudente.

ILUSTRACIONES DE TIM BOWER

En el día a día abundan los juicios instantáneos que corresponden a procesos de pensamiento relativamente automáticos. Aparte del reducido número de individuos con quienes solemos relacionarnos, la mayoría de las personas con las que interaccionamos son desconocidos que tal vez no volvamos a ver (como los que encontramos haciendo cola en un banco), o personas a quienes tratamos por su trabajo (cajeras, taxistas, camareros, agentes de seguros, maestros, etcétera). La percepción inconsciente implícita genera expectativas sobre su conducta y personalidad fundadas en una información sucinta. Esperamos que los camareros se comporten de una cierta manera, distinta de la de las bibliotecarias o de los camioneros. Tales expectativas nos llegan de forma automática y sin que pensemos en ellas, y se basan solo en la posición social de la persona.

La percepción inconsciente de los demás, a lo largo de un día cualquiera, es como un acto reflejo. Se requiere un esfuerzo consciente y voluntarioso para obviar sentimientos negativos inexplicados, a menudo sin fundamento, que tal vez albergamos hacia otros. Cuanto más vigorosa sea la influencia inconsciente, más habremos de esforzarnos conscientemente para vencerla. Ello se observa sobre todo en los comportamientos habituales. Quizás al llegar a casa por la tarde, un alcohólico se sirva una copa, y una persona gruesa, ataque la bolsa de patatas fritas; ambos desdeñarán prestamente la idea compensatoria de reprimirse.

Para no ser dominados por impulsos difíciles de entender y controlar, resulta esencial comprender el enérgico tirón que el inconsciente nos imparte. La facultad de regular la propia conducta —sea para hacer nuevos amigos, adaptarse a un nuevo empleo o superar un problema de alcoholismo— no solo depende de los genes, el temperamento o las redes sociales de apoyo. Depende también, y no en pequeña medida, de nuestra capacidad para identificar y tratar de vencer los impulsos y emociones automáticos que influyen en todos los aspectos de nuestra vida en vigilia. Para abrirnos camino en el mundo, hemos de aprender a habérnoslas con nuestro yo inconsciente.

Reacciones viscerales

Al entrar en contacto con un desconocido, antes siquiera de iniciar una conversación, nos hemos formado ya una primera impresión. Nos fijamos en su raza, sexo y edad, rasgos que, una vez percibidos, vinculamos de forma automática con estereotipos interiorizados sobre cómo se comportan los miembros de cierto colectivo. Estos prejuicios sobre el grupo social en cuestión —que calificamos de hostil, perezoso, agradable, habilidoso— a menudo son incorrectos por lo que respecta al miembro de ese grupo que tenemos delante, quien seguramente no habrá hecho nada para merecer alguna de estas impresiones, sean buenas o malas.

Tales reacciones reflejas suelen ser contumaces, incluso aunque vayan en contra de nuestras creencias conscientes. Muchas personas que dicen mantener actitudes abiertas hacia los grupos minoritarios quedan sorprendidas cuando los sociólogos les revelan sus contradicciones con ayuda de una sencilla prueba. En el test de asociación implícita se les pide a los probandos que caractericen objetos presentados en una pantalla según las propiedades que posean. Así, un cachorrillo podría calificarse de bueno; una araña, de mala. Después, se le muestran al probando una serie de rostros de personas de diferentes razas y se le pide que los clasifique como blancos, negros y demás.

He aquí el truco: en las dos tareas (la evaluación inicial y la clasificación en grupos) se utilizan los mismos pulsadores. El izquierdo podría servir para declarar «bueno» y «blanco» y el derecho, para «malo» y «negro». En un ensayo posterior, los botones se rotulan a la inversa, de modo que ahora el pulsador izquierdo registra objetos buenos y rostros negros, y el derecho corresponde a malos y blancos. Un probando de raza blanca demostraría prejuicios subyacentes si la tarea le resulta más fácil (responde con mayor rapidez) cuando los pulsadores están configurados para malo/negro que cuando lo están para bueno/negro. Muchas personas con una actitud consciente positiva hacia los grupos minoritarios, y que se consideran motivadas a tratar a todos con justeza y ecuanimidad, quedan sorprendidas por la mayor lentitud en presionar los botones bueno/negro.

En síntesis:
La importancia del inconsciente

1 Cuando decidimos sobre una votación, una compra, el lugar donde ir de vacaciones y un sinfín de otras cuestiones sobre nuestra vida, a menudo empleamos poco el pensamiento consciente.

2 Hay buenas razones para que intervengan procesos inconscientes a la hora de deliberar y planificar nuestras acciones. Los juicios automáticos resultan esenciales para evitar peligros inminentes, como ser atropellado por un coche.

3 Sigmund Freud reflexionó a lo largo de toda su carrera sobre la importancia del inconsciente. Los nuevos estudios ofrecen una visión más pragmática sobre nuestra relación con un superior o el cónyuge.

EL AUTOR

John A. Bargh es profesor de psicología en la Universidad de Yale. Su Laboratorio sobre Automatismos en la Cognición, la Motivación y la Evaluación investiga la influencia del inconsciente en la conducta y analiza en qué medida existe el libre albedrío.

Las reacciones de este tipo complican las relaciones interpersonales y el trato equitativo en los tribunales, el lugar de trabajo y las escuelas, precisamente porque emanan de la mente inconsciente. Dado que no tenemos constancia de ellos, estos sentimientos tienden a entrometerse en todo lo que nos ocupe en ese momento. En lugar de admitir un prejuicio racial que nos negamos a reconocer, desviamos nuestra atención hacia algún rasgo o peculiaridad negativa de la persona en cuestión. El responsable de admisión de alumnos en una universidad podría fijarse en las calificaciones menos brillantes de un candidato, a pesar de que en todos los demás aspectos ofrezca sólidas garantías, debido a que este pertenece a un grupo minoritario; quizá no se percate, en cambio, de que con otros aspirantes no ha sido tan estricto.

Aunque la investigación sobre percepción social inconsciente con frecuencia se ha centrado en los estereotipos y prejuicios, las indagaciones en esta línea son de alcance mucho mayor. En general, cuesta mucho averiguar el origen de los diversos sentimientos, lo mismo positivos que negativos, y se propende a malentender sus auténticas causas. He aquí una demostración clásica de este efecto. En una encuesta telefónica, se pedía a los entrevistados que valorasen cómo les había ido en la vida hasta entonces. Las respuestas dependían del día que hiciera: si el tiempo era agradable, tendían a caracterizar toda su existencia como feliz. Pero en cuanto se percataron de este efecto, el cambio fue inmediato: cuando los entrevistadores les llamaron la atención sobre el tiempo que hacía, su sentir ya no quedó matizado por las condiciones meteorológicas.

FUENTE: «STUDIES OF INTERFERENCE IN SERIAL VERBAL REACTIONS», POR J. R. STROOP, EN *JOURNAL OF EXPERIMENTAL PSYCHOLOGY*, VOL. 18, N.º 6, DICIEMBRE DE 1935

La lentitud en mencionar el color de una palabra que designa un color distinto (efecto Stroop) puede indicar una distracción inconsciente.

Sin control

Los pensamientos y sentimientos inconscientes no solo influyen en la percepción de uno mismo y del mundo circundante, sino también en nuestros actos cotidianos. El efecto del inconsciente sobre la conducta ha suscitado debates entre los psicólogos a lo largo de decenios. Durante buena parte del siglo XX, B. F. Skinner (1904-1990) y la escuela de psicología conductista sostuvieron que nuestros actos se hallaban determinados por lo que veíamos, oíamos y tocábamos en nuestro entorno, y que la intención consciente no desempeñaba papel alguno. Esta idea estaba integrada en el clásico experimento de la rata que aprendía, a base de ir probando, que cada vez que empujaba una barrita recibía una ración de alimento. En la visión skinneriana del mundo, casi todo cuanto hacemos se traduce en variantes más elaboradas y complejas de este experimento; solo necesitamos pulsar el equivalente de la barra correcta —quizás echar una moneda en una máquina de caramelos— para obtener lo que deseamos.

La doctrina conductista de Skinner quedó desacreditada en los años sesenta. Pero el principio opuesto, a saber, que la conducta se halla siempre sometida a un control deliberado, y nunca provocada por las condiciones del entorno, es igualmente falso. Basta observar o escuchar a otra persona para que nos comportemos de cierto modo, sin tan siquiera darnos cuenta.

Las personas tenemos una tendencia natural a imitar las conductas ajenas: la expresión de sus emociones, los gestos de brazos y manos, sus posturas corporales. Tales impulsos aparecen también en el mundo natural: los cardúmenes de peces, las manadas de antílopes o las bandadas de pájaros coordinan con fluidez su conducta grupal, como si constituyeran un solo organismo. En los humanos, la tendencia a remedar lo que hacen otras personas cercanas se ha observado en bebés y niños de corta edad, y los psicólogos llevan casi un siglo sosteniendo que tal pauta contribuye al aprendizaje de la lengua y de otras conductas de nuestros progenitores.

La imitación, por otra parte, no desaparece con la infancia. El efecto camaleón nos lleva a adoptar la postura y otras conductas físicas de personas con quienes acabamos de trabar conversación en una fiesta: la misma forma de encabalgar las piernas, cruzarse de brazos o rascarse una ceja. La mímica prosigue hasta que decidimos tomar una copa y buscar a un nuevo interlocutor, cuya postura o actitud imitamos a su vez, como un camaleón hace con su entorno. La adopción de conductas ajenas podría tener una justificación adaptativa, sobre

Respuesta a las críticas: por qué algunos estudios sociales no son reproducibles

Algunos informes denuncian que los estudios iniciales que demostraban la influencia del inconsciente sobre la conducta social (que señalaban que se camina más despacio tras oír palabras asociadas a la vejez, como «residencia» o «andador») no se observaba en los experimentos repetidos que empleaban los mismos procedimientos. Sin embargo, tales informes han obviado a menudo que numerosos estudios publicados en los diez últimos años sí han reproducido con éxito los hallazgos originales sobre el pensamiento y la conducta inconsciente, además de ampliar esta línea de investigación hacia nuevas direcciones.

Tales estudios han confirmado que un gesto inconsciente o una palabra dejada caer para los que antes se ha formado una vigorosa asociación pueden modificar la conducta de una persona. Han aportado pruebas de que las motivaciones subliminales se valen de los mismos procesos mentales (memoria operativa y función ejecutiva) que intervienen en los actos conscientes de autocontrol; y de que las personas suelen desconocer las auténticas razones que subyacen a la conducta cuando es influida por impulsos inconscientes.

Los estudios que no han logrado reproducir estos efectos en general no han incorporado los procedimientos, empleados en ensayos anteriores, que elevan la probabilidad de detectar la influencia del inconsciente en el comportamiento. En muchos de los experimentos iniciales se utilizaron palabras y material verbal para desencadenar una conducta. Los estudios que han evitado recurrir a estrategias verbales y las han sustituido por estímulos más realistas y naturales, como fotografías de diversos deportistas, han obtenido mejores resultados. Esta clase de estímulos son los que más importan para desencadenar efectos inconscientes en nuestro día a día.

Los estudios de neuroimagen que han examinado la activación de regiones cerebrales a causa de estímulos inconscientes han respaldado esta rama de la psicología social. Tales trabajos aportan cierta comprensión de los fundamentos fisiológicos del impulso inconsciente. En las imágenes cerebrales se observa que las áreas que se activan durante la percepción de una superficie «áspera» o «suave» también lo hacen cuando una persona tiene, o no tiene, dificultades para relacionarse con otra (con la que presenta, en esencia, una interacción «áspera» o «suave»). Además, las regiones que responden al calor físico también se activan ante la cordialidad y generosidad de una relación social cálida.

La cuestión no estriba en si los diversos efectos inconscientes sobre juicios y conductas son reales y reproducibles (como, de hecho, se ha demostrado), sino por qué algunos investigadores obtienen estos efectos y otros no. Se trata de una cuestión importante para seguir avanzando en el conocimiento de la forma en que operan las influencias sociales inconscientes. Subraya la necesidad de prestar atención a los contextos y condiciones que se requieren para producir pensamientos y conductas a partir de estímulos inconscientes. Sin duda, los esfuerzos deben proseguir. Pero el conjunto de datos recopilados hasta ahora muestra que la influencia del inconsciente sobre juicios, emociones, conductas y motivaciones resulta importante para la sociedad en su conjunto y para la vida cotidiana de los individuos.

---

todo cuando no se sabe exactamente cómo proceder en una determinada situación social.

El aforismo «Donde fueres, haz lo que vieres» es razonable, porque no cabe esperar que los locales participen en conductas imprudentes o socialmente reprobables. Y como han demostrado investigaciones de Paula Niedenthal y Robert Zajonc, cuando ambos colaboraban en la Universidad de Michigan, un fascinante efecto a largo plazo de esta proclividad a la imitación es que los miembros de una pareja tienden a parecerse tanto más cuanto más tiempo llevan juntos, presumiblemente porque, a diario, tienden a adoptar las expresiones faciales y las posturas de su cónyuge sin advertirlo.

La imitación fomenta una mentalidad social sin necesidad de indicaciones explícitas que informen de lo que se ha de hacer a continuación. Las personas que hacen cola con paciencia inducen a los recién llegados a imitarlos; abrirle la puerta a un vecino, refrenar al perro o no ensuciar la calle crea en otros un estado mental que les anima a hacer lo correcto. La imitación inconsciente alienta sentimientos de empatía hacia el prójimo, favorece el vínculo social y despierta un sentimiento de cercanía incluso entre desconocidos. El remedo adquiere máxima intensidad cuando dos o más personas participan a la vez en una misma actividad. Tal es el caso de un desfile militar o de un grupo de fieles entonando un mismo himno en su iglesia. Las investigaciones sobre sincronización conductual han demostrado que esta tiene el efecto de incrementar la cooperación, incluso si los individuos implicados nunca se habían visto antes.

Por desgracia, la tendencia natural a la imitación tiene doble filo. Como han observado en trabajos de campo el psicólogo Kes Keizer, de la Universidad de Groninga, y sus colaboradores, una fechoría lleva a otras. Los investigadores observaron que la presencia de grafitis en la pared de un callejón se asociaba a un mayor número de octavillas publicitarias lanzadas al suelo (estas se habían

colocado previamente en el manillar de bicicletas estacionadas en la calleja). Se ha visto así que combatir las pintadas y otras infracciones menores puede tener importantes consecuencias en la calidad de la vida ciudadana. Esta investigación viene a respaldar la «teoría de las ventanas rotas» defendida por el exalcalde de la ciudad de Nueva York Rudy Giuliani, quien a mediados de los noventa promovió la aplicación estricta de ordenanzas contra infracciones de poca importancia, como arrojar desperdicios en la vía pública, cruzar las calles sin respetar las señales o el vandalismo urbano. El importante descenso de los delitos durante ese período ha sido atribuido, en parte, a esta política.

A menudo, la tendencia a copiar a los otros se extiende más allá de la imitación de meros ademanes o expresiones faciales. Cuando nos encontramos con un conocido, o cuando lo evocamos, se pondría en marcha un proceso mental que nos empujaría a iniciar comportamientos propios de esa otra persona. Ciertas investigaciones han revelado que cuando se presentaba a estudiantes conceptos asociados con personas de edad avanzada («residencia», «canas», «andador» y demás), estos recorrían a continuación el vestíbulo más lentamente, de acuerdo con el estereotipo de que los mayores son lentos y débiles. De forma similar, los estímulos verbales o gráficos en relación con la imagen estereotípica de la enfermera suscita conductas de ayuda, mientras que los correspondientes a políticos inducen discursos más ampulosos. Todos estos efectos parecen darse de modo inconsciente y sin que los participantes se percaten de que su conducta recibe una influencia externa.

Algunas investigaciones sobre lo que en psicología social se denomina amenaza del estereotipo han revelado que la mera evocación de un estereotipo relativo a la raza, el sexo o la etnia en un miembro de un grupo al que se atribuyen tales prejuicios puede afectar al rendimiento escolar o laboral de esa persona. Claude Steele, de la Universidad Stanford, ha demostrado que los estudiantes obtienen peores resultados en un examen si antes de empezarlo se les pide que marquen en una casilla su pertenencia a una determinada minoría, racial o étnica. La psicóloga Nalini Ambady, por entonces en la Universidad Harvard, demostró que incluso las niñas de la guardería de Harvard fallaban más en sencillos ejercicios de matemáticas si antes se les recordaba sutilmente que eran del sexo femenino. Los estereotipos positivos ejercen el efecto contrario. En el mismo estudio, las niñas asiático-estadounidenses rendían más que el promedio si se les recordaban sus raíces étnicas, pero quedaban por debajo si se llamaba la atención sobre el sexo al que pertenecían.

En tiempo reciente se ha suscitado una controversia debido a la incapacidad de repetir los resultados de ese tipo de estudios. Las razones de que no fueran reproducibles resultan complejas y dependen, en parte, de los métodos utilizados para realizarlos.

De hecho, la influencia inconsciente no siempre nos motiva del mismo modo. La idea de la publicidad subliminal en los cines es ampliamente conocida (en el pasado se creía que al proyectar imperceptiblemente «coma palomitas» en la pantalla se dispararía la venta en los puestos correspondientes). La preocupación por la publicidad subliminal brotó en los años cincuenta, con la publicación de *Las formas ocultas de la propaganda*, de Vance Packard. Resultó que casi todos los informes allí presentados eran falaces, pero la posibilidad de que mensajes subliminales influyan en la conducta de los consumidores sigue despertando inquietud. En efecto, las investigaciones posteriores han demostrado sistemáticamente que si una persona está motivada para hacer algo (como saciar la sed), un mensaje subliminal que favorezca cierta marca de bebida puede resultar eficaz.

La publicidad ordinaria, sin incordios de mensajes ocultos, constituye por sí misma una poderosa influencia. En un nuevo estudio en que se examinaba la publicidad televisiva, los participantes presenciaron un segmento de cinco minutos de un programa de humor y se les entregó un cuenco con galletitas saladas. Cualquier tipo de anuncio de comidas durante las interrupciones de publicidad incrementó de forma notable el consumo de galletas en los probandos. Los anuncios de alimentos estimulaban el picoteo, sin que interviniera ningún artificio subliminal. El error que se suele cometer consiste en presumir que podemos controlar los efectos de un anuncio sobre nuestra conducta por el simple hecho de tener consciencia plena de su contenido.

Cognición implícita

Parte de las investigaciones sobre el inconsciente y la conducta se centran en la influencia del entorno físico en nuestro estado psicológico. En los años ochenta, Fritz Strack, ahora en la Universidad de Wurzburgo, y sus colaboradores demostraron que la reacción inconsciente de una persona ante la propia expresión del rostro (sonriente o ceñuda) bastaba para registrar un juicio de valor (de agrado o desagrado) acerca de un objeto en su campo de visión. Los probandos sostenían lápices, bien entre los dientes —lo que contraía los músculos de sonrisa—, bien entre los labios, lo que obligaba a fruncir el ceño. La forma que adoptaban los músculos faciales suscitaba el correspondiente estado psicológico.

Los estudios en esta área de investigación, conocida como cognición implícita, han revelado la existencia de una pléyade de acciones y sensaciones físicas que provocan estados psicológicos metafóricamente relacionados con tales conductas y sentimientos. La evocación de un incidente del pasado, en el que fueron heridos los sentimientos de alguien, puede hacer sentir mayores deseos de ayudar a otros y cooperar amistosamente, para compensar la mala acción. En un conocido estudio, tras hacer recordar a los participantes alguna acción que les hiciera sentir culpa, estos debían lavarse las manos, según

ILUSTRACIONES DE TIM BOWER

se les explicó, para impedir la difusión de un virus gripal en la sala del experimento. El acto físico de lavarse las manos parecía «limpiarles» la culpa. En el grupo que efectuó estos ejercicios de fregado se esfumaron las tendencias amistosas o colaboradoras, en contraste con quienes no tuvieron que lavarse. Este fenómeno ha sido llamado efecto Macbeth, por los compulsivos rituales de lavado de lady Macbeth en la tragedia homónima de Shakespeare.

De modo análogo, la protección contra la enfermedad parece satisfacer necesidades abstractas, sociales o políticas. En un estudio, los probandos políticamente conservadores recién vacunados contra el virus gripal H1N1 expresaron actitudes menos intolerantes hacia los inmigrantes que quienes no habían sido inoculados, como si la protección contra la invasión gripal les hiciera percibir que los recién llegados eran bienintencionados, no invasores ni expoliadores de la cultura que les recibía.

También se aplican las metáforas a quienes encontramos a diario. Todos comprendemos el significado de una relación «íntima» o de un padre «frío». Una teoría reciente, llamada andamiaje conceptual, afirma que utilizamos estas metáforas porque la versión abstracta del concepto mental está fuertemente asociada al mundo material en que habitamos. En experimentos, los probandos que sostuvieron un breve tiempo entre las manos una taza de café caliente se formaron de otras personas la impresión de que eran «más cálidas», más amigables y generosas que si hubieran sostenido café helado. Estudios afines sobre la influencia, inconsciente y metafórica, de sensaciones físicas sobre la opinión y la conducta, han revelado que si se hace sentar en sillas duras a los participantes de una negociación, estos tienden a adoptar líneas más «duras» y se muestran menos flexibles que si lo hacen en asientos blandos. Y cuando tienen asido algún objeto áspero, consideran que un encuentro ha sido más desagradable y ha ido peor.

De forma inconsciente tendemos a valorar casi todo con lo que entramos en contacto en una burda dicotomía de «bueno» o «malo». Esta respuesta automática se refle-

ja incluso en nuestros movimientos básicos, en nuestra inclinación a aproximarnos o rehuir un objeto. Reinout Wiers, psicólogo clínico de la Universidad de Ámsterdam, ha desarrollado recientemente una intervención terapéutica frente al alcoholismo y la drogadicción basada en esta idea. Durante el tratamiento, los pacientes debían responder a imágenes representativas de distintas formas de alcoholismo empujando una palanca para alejarlas de sí, sin instrucción alguna sobre cómo valorar el significado de las imágenes. Comparados con un grupo de control, quienes respondieron apartando de sí la palanca presentaron un menor porcentaje de recaída al cabo de un año, así como actitudes reflexivas más negativas hacia el alcohol. La conexión inconsciente con la ejecución de movimientos musculares asociados al repudio causó actitudes psicológicas negativas y una reacción visceral que contribuyó a que los pacientes superasen la tentación de beber fuera ya de la clínica.

De vuelta a Freud

Los trabajos experimentales más recientes se ocupan de los propósitos y motivaciones inconscientes, de la cuestión fundamental «¿Qué quiere la gente?», un tema central en la dilatada carrera de Freud. Las teorías modernas sobre el motor de la conducta difieren de la propuesta por el neurólogo austríaco porque son fruto del estudio de grupos de personas corrientes, y no de casos clínicos. Apuntan, asimismo, hacia un único sistema psicológico, que todos poseemos, capaz de operar de modo consciente o inconsciente; por el contrario, el inconsciente freudiano sigue sus propias reglas, separadas por completo de las que gobiernan la actividad consciente.

En efecto, en la moderna psicología del deseo se ha descubierto que, seamos o no conscientes de que nos hemos propuesto un determinado objetivo, nuestra forma de perseguirlo se asemeja mucho en ambos casos. En investigaciones sobre este fenómeno realizadas por Mathias Pessiglione y Chris Frith, del Centro de Neuroimágenes Wellcome Trust del Colegio Universitario de Londres, se pidió a los probandos que accionasen una palanca lo más rápido posible cuando se les indicase. Antes de cada intento, se les proporcionó una pista, ora consciente, ora subliminal, sobre la recompensa que recibirían. Los incentivos más elevados (que variaban entre libras y peniques) produjeron acciones más rápidas, tanto si fueron percibidos conscientemente como si no. Además, las imágenes del cerebro revelaron que en ambos casos se activaban las mismas regiones. Este y otros estudios llevan a pensar que un estímulo percibido de modo inconsciente puede bastar para que una persona persiga un objetivo sin consciencia alguna de cómo se originó, sin que intervenga la reflexión o la voluntad.

Nuestra mente inconsciente no solo puede orientarnos hacia una opción determinada, sino que puede hacernos reunir la motivación necesaria para lograrla. Se sabe desde hace tiempo que, en experimentos de ciencias sociales, las personas a quienes se otorga poder suelen exhibir conductas egoístas y corruptas, anteponiendo a todo sus intereses personales. La ambición de ejercer el poder en el seno de un grupo suele manifestarse en una serie de indicios físicos sutiles, de los que el sujeto en cuestión no se percata. En un estudio, los probandos aleatoriamente nombrados para ocupar el sillón de la mesa del profesor se mostraron menos interesados por lo que otros pudieran pensar de ellos, y menos inhibidos en manifestar sentimientos racistas o antisociales, que los participantes sentados enfrente en un asiento de estudiante.

Afortunadamente, son muchos quienes desean el bienestar de otras personas, como es el caso de los padres, que sitúan los intereses de sus hijos por encima de los suyos propios. Si el poder conlleva una activación inconsciente de importantes ambiciones personales, cabe suponer que estos individuos «de orientación comunitaria» se mostrarán más proclives a ayudar a los demás y menos a centrarse en sí mismos. En efecto, los estudios revelan que el poder hace que estos individuos asuman perspectivas más altruistas y dejen menos carga en hombros de otros; todo ello, nuevamente, sin que tengan consciencia de sus motivaciones. Asimismo, estas personas están más pendientes de la consideración ajena y acusan menor tendencia a albergar prejuicios raciales.

Freud dedicó incontables palabras a explicar por qué nuestros deseos insatisfechos se expresan en las imágenes y fantasías de nuestros sueños nocturnos. Las últimas investigaciones proporcionan una perspectiva más pragmática de cómo el pensamiento y la emoción que subyacen a la consciencia dan forma a nuestras relaciones con un jefe, un cónyuge, un progenitor o un niño. Lo cual entraña que podemos arrinconar nociones anticuadas, como el complejo de Edipo, y aceptar la realidad de que el inconsciente se manifiesta en todos los instantes de nuestra vida, tanto en la vigilia como en lo profundo de un sueño. ★

Artículo publicado en *Investigación y Ciencia* n.º 450

PARA SABER MÁS

Automaticity in social-cognitive processes. John A. Bargh et al. en *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 16, n.º 12, págs. 593-605, diciembre de 2012.

The selfish goal: Autonomously operating motivational structures as the proximate cause of human judgment and behavior. Julie Y. Huang y John A. Bargh en *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 37, n.º 2, págs. 121-135, abril de 2014.

EN NUESTRO ARCHIVO

Vuelve Freud. Mark Solms en *IyC*, julio de 2004.

Neuropsicoanálisis. Steve Ayan en *MyC* n.º 18, 2006.

EPILEPSIA El estudio de cómo la consciencia se interrumpe durante los ataques epilépticos proporciona claves para entender su funcionamiento en el cerebro

Pérdida y recuperación de la consciencia

DON M. TUCKER Y MARK D. HOLMES

Cada segundo, nuestro cerebro recibe estímulos del mundo que nos rodea y nos proporciona la sensación de darnos cuenta de lo que estamos haciendo y de lo que acabamos de realizar. Aunque el mecanismo de este proceso cerebral no es fácil de entender, el estudio de sus fallos —como ocurre en la pérdida de consciencia durante los ataques epilépticos— nos ayuda a entenderlo. Avances en la cartografía de las alteraciones que tienen lugar durante los ataques epilépticos nos permiten relacionar las interrupciones de consciencia que ocurren en ellos con las interferencias que provocan en determinadas redes neurológicas.

La pérdida de la memoria en curso que interrumpe la continuidad de la consciencia se presenta cuando las convulsiones alcanzan las vías corticolímbicas cerebrales. Estas suspensiones provocadas por las convulsiones límbicas sugieren que la memoria actual, la cual nos permite usar el conocimiento del pasado inmediato y anticipar el futuro inmediato, constituye un componente de la consciencia. Dicho de otro modo, se trata de una pieza necesaria para mantenernos conscientes.

En síntesis: Convulsiones reveladoras

1 Las pérdidas de consciencia durante las crisis convulsivas en la epilepsia ofrecen claves para entender los mecanismos neuronales de la consciencia.

2 Las investigaciones señalan que las redes corticolímbicas del cerebro son necesarias para que seamos conscientes del contexto en el que vivimos.

3 En el control voluntario de la consciencia, en cambio, intervienen los circuitos neuronales frontotalámicos, según revelan las crisis de ausencia de pacientes epilépticos.

ISTOCK / FOTOGRAFIXX

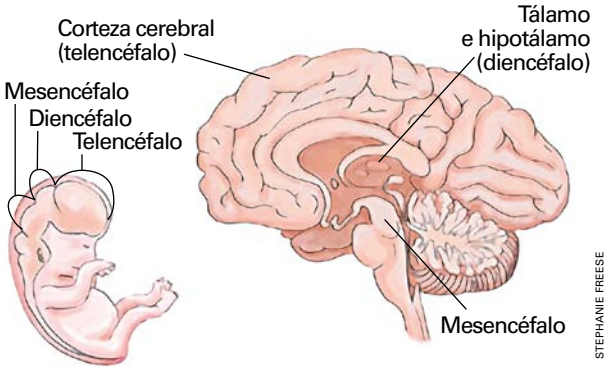
La electroencefalografía densitométrica, técnica que permite registrar de forma no invasiva la actividad cerebral mediante electrodos, se ha utilizado para investigar el origen neuronal de las convulsiones epilépticas y, con ello, de la consciencia.

El control voluntario de la consciencia se ve interrumpido en las denominadas crisis de ausencias, en las que la convulsión se extiende por los circuitos frontotalámicos. Ello sugiere que el control voluntario de las intenciones constituye, asimismo, un componente integral de la consciencia. Este se encuentra íntimamente relacionado con la atención selectiva, aunque es distinto a ella: en la atención selectiva, algunos contenidos de la consciencia se hallan «focalizados», mientras que otros desaparecen de su escenario. El control de la intencionalidad , por su parte, permite a la consciencia coordinar los recursos mentales y proporciona la sensación de ejercer un papel activo en las experiencias personales.

Localizar la consciencia

Un debate clásico de las neurociencias radica en si la consciencia se aloja en algún punto determinado del cerebro (localización*)* o si depende de todo un conjunto de reacciones cerebrales (acción masiva*)*. Las técnicas de neuroimagen, tales como la resonancia magnética funcional (RMf) o la electroencefalografía densitométrica (EEGd), apoyan la teoría de la localización.

Sin embargo, la mejor explicación científica de cómo una función psicológica puede surgir de la estructura neural humana se ha obtenido a partir de modelos neurológicos artificiales propuestos por la neurociencia computacional. Estos modelos ofrecen representaciones de la distribución informativa muy similares a los de la clásica teoría de la acción masiva. Según un principio, en ocasiones llamado coneccionismo, la información está representada en los patrones de conexión entre las neuronas y no en las propias neuronas. Con las simulaciones coneccionistas se consigue reproducir unas propiedades similares a las del cerebro como nunca hubiera sido posible lograr con la tradicional inteligencia artificial. Un ejemplo lo tenemos en la memoria de contenido direccionable. En un ordenador no solo se debe especificar qué hay que almacenar en la memoria, sino la dirección del lugar donde se ha de colocar. Una vez representada la información en los patrones de conexión de una red, simplemente presentando la red con su contenido (como ocurre con los rasgos



STEPHANIE FREESE

Durante el período fetal (*izquierda*), antes de que se pliegue la corteza cerebral, se reconoce la organización vertical del cerebro. La vista lateral del hemisferio derecho del cerebro humano adulto (*derecha*) muestra las regiones límbicas en la parte interior, y el tronco cerebral con el tálamo y el hipotálamo en la parte superior.

del rostro de una persona que hay que reconocer), la memoria se dirige a la dirección adecuada siguiendo el modelo de activación de las conexiones.

Basándose en los principios de la computación distributiva, los neuropsicólogos teóricos han desarrollado nuevos conceptos que relacionan las complejas cualidades de la mente humana con las propiedades específicas de las redes cerebrales. Giulio Tononi, de la Universidad de Wisconsin, y Christoph Koch, del Instituto de Tecnología de California, han utilizado el modelo coneccionista para interpretar datos que sugieren el modo en que la consciencia puede aparecer a partir de una amplia red neuronal en los hemisferios cerebrales. Los estudios anatómicos muestran una tupida red de conexiones tanto en el interior de cada hemisferio cerebral como entre un hemisferio y otro. A pesar de que esta red puede ser activada, Tononi y Koch proponen que la consciencia surge a partir de un patrón dinámico de conexiones fisiológicas activas en cada punto en un momento dado y que actúan como conjunto integrado.

La idea de que la memoria se almacena en determinados patrones conectivos entre las neuronas la expuso por primera vez Sigmund Freud (1856-1939) en los años noventa del siglo XIX. Warren McCulloch y Walter Pitts, de la Universidad de Chicago, tradujeron ese planteamiento a fórmulas matemáticas de cibernética de redes neuronales en los años cuarenta del siglo XX. Su trabajo sigue siendo importante para ciertas modernas teorías de la neurociencia, entre ellas, las propuestas por Tononi y Koch. Desde el punto de vista coneccionista, si pudiéramos entender el control a gran escala de las interrelaciones fisiológicas que acontecen en el cerebro podríamos comprender también los sistemas de control necesarios para regular la consciencia.

Toda esa información nos retrotrae a la epilepsia, puesto que en las convulsiones puede hallarse la clave que explique el estímulo y la difusión de las interrelaciones en las redes fisiológicas. La forma en que las crisis epilépticas afectan ciertas redes neuronales y no otras puede ilustrar cómo el dinamismo de determinados grupos de neuronas actúa en el seno de redes anatómicas específicas. Con otras palabras, los déficits psicológicos característicos de estas convulsiones pueden proporcionar pistas que permitan explicar la separación de los componentes funcionales de la consciencia.

Una tupida red

El principio de la función neuropsicológica es tan básico que fácilmente pasa desapercibido. Las funciones psicológicas del cerebro humano están organizadas según la arquitectura general que comprende una red jerarquizada de estructuras evolucionadas en el cerebro de los vertebrados. Esta jerarquía puede entenderse como una dimensión vertical de la organización neurológica. Las estructuras de evolución más reciente se acumulan sobre las más primitivas. El cerebro todavía en desarrollo del feto humano revela que la formación de la corteza depende de la mayor densidad de circuitos del telencéfalo subcortical, incluidos los circuitos límbicos y los de los ganglios basales. Estos sistemas telencefálicos (del cerebro definitivo) dependen a su vez de las influencias reguladoras procedentes de las zonas talámica e hipotalámica del diencéfalo (cerebro interno) situados en el punto más alto del tronco cerebral, de manera que ejercen un control del tráfico de entrada y salida del telencéfalo. A su vez, las funciones del diencéfalo dependen del soporte constante de los niveles de organización mesencefálica, metencefálica y mielencefálica del tronco cerebral que regula funciones primitivas pero esenciales: la respiración, el ritmo cardíaco y la estimulación cerebral.

Algunas personas epilépticas sufren convulsiones tónico-clónicas. Este tipo de crisis supone la forma más severa de ataque epiléptico y tiende a generalizarse o

LOS AUTORES

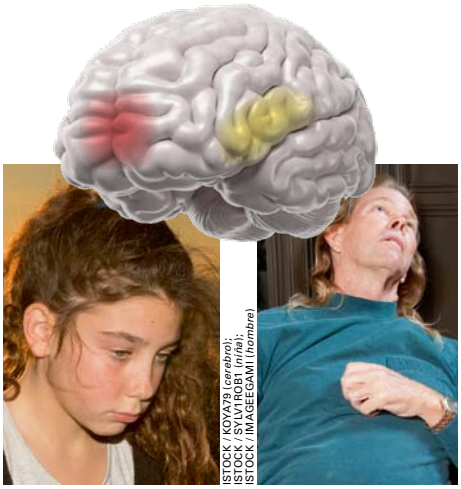
Don M. Tucker (*izquierda*) es director ejecutivo y jefe científico de Electrical Geodesics, Inc., compañía de sistemas de electroencefalografía densitométrica. También imparte clases de psicología en la Universidad de Oregón. *Mark D. Holmes* es profesor de neurología en la Universidad de Washington y médico consultor del Centro Regional para la Epilepsia de la Universidad de Washington.

Tipos de ataques epilépticos

Los pacientes que sufren epilepsia pueden presentar convulsiones del lóbulo temporal o crisis de ausencia. Las convulsiones del lóbulo temporal (*derecha*) suelen proceder del hipocampo o de la corteza temporal lateral (*amarillo*). Con frecuencia, un aura precede estos ataques, seguida de una pérdida de consciencia o un estado onírico. Los accesos duran uno o dos minutos, aunque la desorientación puede prolongarse durante horas y los recuerdos inmediatos, perderse. Las crisis de ausencia (*izquierda*) afectan sobre todo a los niños. Suelen originarse en el lóbulo frontal (*rojo*) y repetirse docenas de veces en un día, con un inicio y un final bruscos. Una vez la convulsión ha terminado, los afectados reanudan su actividad como si nada hubiera ocurrido.

Crisis de ausencia

- Pérdida súbita de consciencia.
- Asociada, con frecuencia, a ligeros movimientos faciales o temblor de párpados.
- Cesa toda actividad voluntaria, aunque no se pierde el tono muscular ni se sufre un desvanecimiento.
- Empieza con movimientos inusuales.
- Por lo común, cada crisis dura menos de diez segundos.
- La mayoría de las veces se presenta durante la infancia, entre los 2 y los 10 años de edad, siendo su incidencia máxima entre los 5 y los 6 años. Dos tercios de los afectados son niñas.



ISTOCK / KOYA79 (*cerebro*); ISTOCK / SYLVIROB1 (*niña*); ISTOCK / IMAGEEGAMI (*hombre*)

Convulsión del lóbulo temporal

- Asociada a la confusión o una pérdida completa de la consciencia.
- Son frecuentes los automatismos: lamerse los labios, masticar o tragar sin razón, parpadear, realizar movimientos estereotipados con los brazos, las piernas o los dedos, adoptar posturas inusuales.
- El afectado puede vocalizar o verbalizar, sobre todo si la convulsión se origina en el hemisferio cerebral derecho (no dominante para el lenguaje).
- Puede haber desvanecimiento si la persona se halla de pie en el momento del ataque.
- La convulsión no suele durar más de dos minutos.

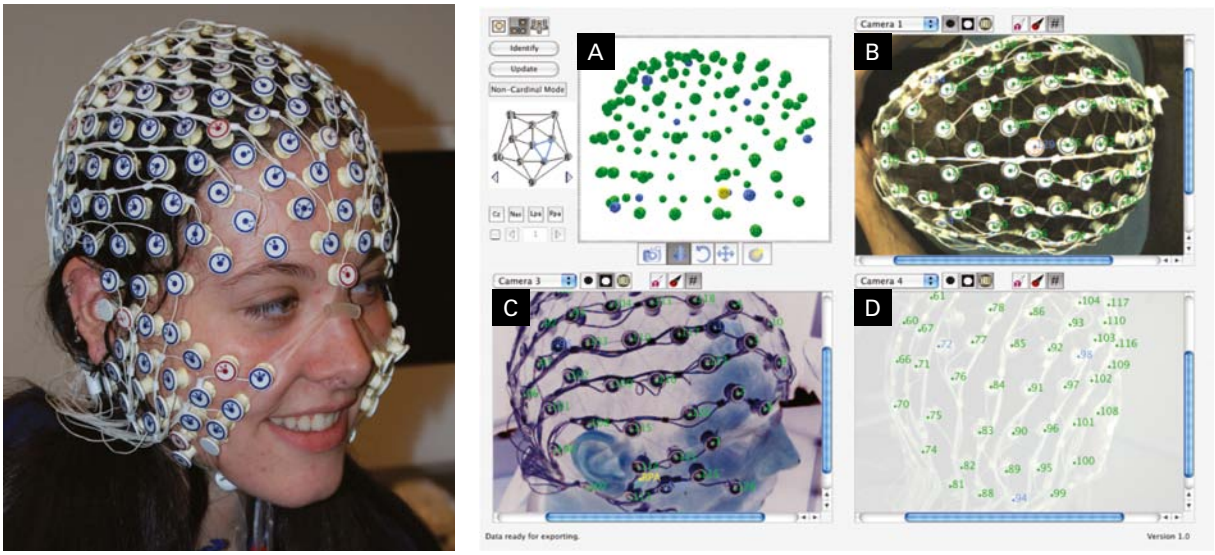
extenderse por todo el cerebro a través de la organización vertical del mismo. Ello demuestra que las redes de más reciente evolución se hallan sujetas a mecanismos de control de redes más primitivas. De esta manera, múltiples niveles verticales de sistemas de control del cerebro se encuentran implicados en cambios importantes de consciencia, entre ellos, los que ocurren durante el descanso nocturno y los sueños. Estos sistemas de control cerebral han de estar permanentemente integrados para permitir las experiencias en la vida cotidiana.

Los ataques epilépticos que permanecen limitados a circuitos del cerebro anterior específicos, a saber, diencéfalo y telencéfalo, aportan pistas más concretas sobre el tema. Estas convulsiones se describen como crisis parciales o vinculadas a una determinada localización. Cuando afectan a la consciencia, se habla de ataques parciales complejos. Se caracterizan porque implican las redes límbicas de la cara medial del hemisferio cerebral. Dichas redes límbicas se encuentran, fundamentalmente, en el lóbulo temporal medial; por esta razón, cuando la epilepsia incluye ataques parciales, suele hablarse de epilepsia del lóbulo temporal. Se trata de la forma del trastorno más frecuente en los adultos. En los afectados que presentan ataques recurrentes, los fármacos antiepilépticos consiguen escasos resultados, por lo que a menudo se requiere extirpar el tejido epileptógeno. En este caso, la localización del lugar de procedencia de la descarga convulsiva resulta imprescindible.

Si se ha de extirpar el tejido límbico del lóbulo temporal, debe demostrarse que los ataques del paciente proceden de un lóbulo temporal concreto y solo de él. Con la EEGd se rastrea el campo eléctrico cerebral mediante la colocación de electrodos que cubren toda la cabeza. Una cobertura adecuada permite registrar los impulsos eléctricos en una imagen por resonancia magnética tridimensional de los tejidos cerebrales. A continuación, la imagen por ordenador presenta una visión general de la superficie cortical y ofrece un detallado modelo eléctrico del cerebro del paciente. Con este modelo eléctrico exacto y con los datos densitométricos puede estimarse el origen del ataque a partir del electroencefalograma (no invasivo). Estudios llevados a cabo con electrodos intracraneales han demostrado que el lugar de origen de los ataques estimado por el EEGd es una guía fiable para la neurocirugía.

Central límbica

Epidemiólogos y neurocirujanos han constatado que los ataques que empiezan en el lóbulo temporal se originan en las redes límbicas del lóbulo temporal medial. Con el fin de entender por qué las redes límbicas tienden a producir convulsiones, los investigadores han analizado los ataques en animales. Se ha observado que la reactividad de las redes límbicas en la epilepsia refleja un alto nivel de excitabilidad electrofisiológica, y tal vez funcional, del tejido límbico.



CORTESÍA DE DON M. TUCKERY MARK D. HOLMES

Para registrar la actividad cerebral en todos los puntos de la superficie cefálica se requiere un amplio despliegue de electrodos (256 en el caso mostrado). Se toman múltiples imágenes de la cabeza y los electrodos desde diferentes ángulos (*B*). A través del ordenador se identifican los sensores en cada imagen (*C y D*). De esta manera, se genera una nube de puntos tridimensional (*A*). Los puntos de los sensores proporcionan un registro exacto de los datos eléctricos.

Las redes límbicas se hallan en el centro, un lugar idóneo para que los acontecimientos que ocurren en cualquier región del hemisferio las reactiven. En las últimas décadas de investigación neurocientífica se han logrado importantes datos sobre la arquitectura de las conexiones en los hemisferios cerebrales. Un hallazgo fundamental ha sido conocer el papel central de las redes límbicas. Los trabajos de Deepak Pandya y sus colaboradores de la Universidad de Boston han introducido métodos cuantitativos para estudiar las conexiones en la corteza de los primates.

Las primeras investigaciones cualitativas revelaban que toda conexión neural entre dos áreas corticales resultaba suficiente para considerarlas conectadas y se trazaban complejos mapas, más bien indiscriminados, que llevaban a suponer que la mayoría de las áreas corticales se encuentran mutuamente interconectadas. Sin embargo, los estudios cuantitativos han demostrado que vías primarias de las conexiones neurales enlazan las cortezas sensorial y motora con sus bases en la corteza límbica. Además, la densidad de conexiones interregionales (las que conectan áreas auditivas con visuales, entre ellas) aumenta en las proximidades del sistema límbico. Esta estructura anatómica de las conexiones nerviosas permite que las regiones límbicas funcionen como primera red integradora del hemisferio, tanto por lo que respecta a la integración sensorial en el cerebro posterior como para la organización motora en la parte cerebral anterior. Ello pone de manifiesto que las clásicas áreas corticales de «asociación» se hallan en un punto intermedio, pues se alojan entre las áreas sensoriales o motoras primarias y su base límbica. Esta arquitectura puede ayudar también a explicar por qué los ataques tienden a involucrar regiones límbicas, ya que suponen el núcleo central de las conexiones hemisféricas.

La importancia funcional de la estructura de las conexiones hemisféricas se pone de manifiesto en la función que desempeña la interacción corticolímbica en la actividad de la memoria. Esta actividad resulta de la interacción entre las redes neocorticales (por ejemplo, las responsables de las funciones sensoriales o motoras) y las redes límbicas en el centro del hemisferio. Tanto en estudios clínicos con humanos como con animales se ha demostrado que si las conexiones entre la neocorteza (la corteza auditiva) y la corteza límbica se hallan cortadas, desaparecen importantes aspectos de la memoria (la memoria de sonidos). Dependiendo de la gravedad de la lesión cerebral pueden recuperarse memorias anteriores, pero no crearse recuerdos nuevos. De esa deficiencia se deducen dos importantes consecuencias. En primer lugar, la memoria no se localiza en un punto determinado del cerebro, sino que se encuentra distribuida a lo largo de múltiples redes, entre ellas, las límbicas, la corteza de asociación y la primaria (por ejemplo, la corteza auditiva). En segundo lugar, la formación de una remembranza requiere ciertos procesos fisiológicos de consolidación que permitan que la percepción de un acontecimiento implique una respuesta en la corteza límbica. Estas respuestas, a su vez, actúan de modo retroactivo (todavía no se conoce de qué manera), con lo

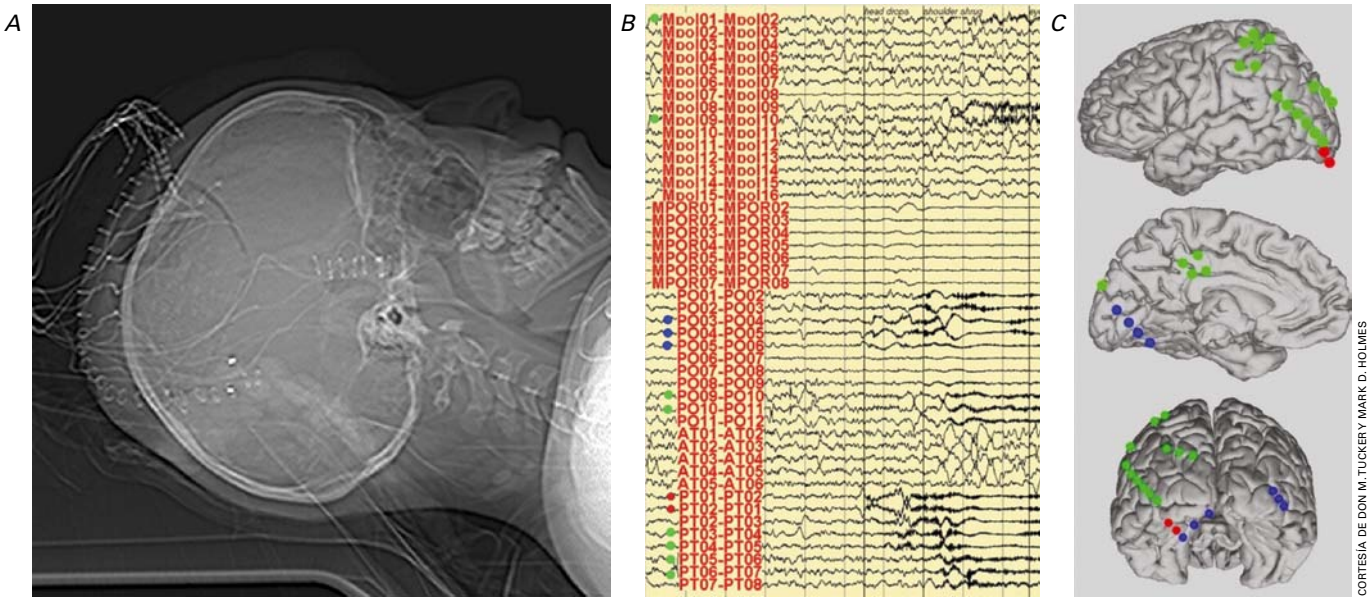
que fortalecen la traza de la memoria que no se halla localizada en un punto determinado, sino que está distribuida a lo largo de redes corticolímbicas asociadas.

Conexiones de la memoria inmediata

Las redes límbicas, en estrecha relación con los mecanismos de regulación homeostática en el hipotálamo, son responsables del control motivacional. Por ello, resulta razonable pensar que el papel funcional de las redes límbicas en la consolidación de la memoria consista en regular los procesos memorísticos con el fin de asegurar que las experiencias emocionales cuenten con una consolidación adecuada y, de esta manera, se retengan en la memoria. Cabe subrayar que la misma excitabilidad de los circuitos límbicos que da lugar a la evocación de experiencias motivacionalmente importantes puede provocar accesos epilépticos.

Hemos visto que en la epilepsia humana se encuentran implicadas con frecuencia las redes límbicas del lóbulo temporal. Algunos investigadores sostienen la hipótesis de que los ataques epilépticos recurrentes pueden implicar la participación del lóbulo temporal, sea cual sea su origen en la corteza. En el fenómeno denominado «encendido» (*kindling)* se provocan crisis epilépticas en animales a través de estímulos eléctricos repetidos en un área de la neocorteza. La primera aplicación solo da lugar a una descarga local directa, pero estímulos sucesivos originan un encendido o una exageración de la respuesta hasta llegar a descargas continuadas similares a las que acontecen en los ataques epilépticos. Los investigadores que utilizaron este método pronto se percataron de que fuese cual fuese el lugar inicial de dicha activación, las descargas convulsivas tendían a progresar hacia el centro límbico del hemisferio. Hace años, el equipo de Jerri Janowski, de la Universidad de Ciencias de la Salud en Oregón, descubrió la íntima relación entre la activación propagada y los procesos de aprendizaje. Este grupo encontró que los accesos epilépticos, una vez inducidos en el cerebro de un animal, podían facilitarse o condicionarse si se asociaban a un estímulo sensorial (un sonido, por ejemplo). La resonancia límbica que comporta la excitación electrofisiológica de un ataque parece similar, si no idéntica, a la que provoca la consolidación de un acontecimiento destacado en la memoria.

Si las convulsiones de origen límbico afectan las bases anatómicas de la memoria, ¿qué ocurre con la memoria de una persona después de un ataque epiléptico? Por lo general, presenta una amnesia retrógrada, es decir, la incapacidad de recordar eventos ocurridos antes del ataque. Debido a esta pérdida de la memoria reciente, la persona se halla desorientada y es incapaz de actuar de manera correcta: no es consciente de dónde se encuentra ni de qué ha ocurrido. De hecho, la orientación espacial y la temporal resultan clave para la consciencia.



CORTESÍA DE DON M. TUCKER Y MARK D. HOLMES

Para comprobar la exactitud de la localización de la electroencefalografía densitométrica (EEGd), los autores compararon sus resultados con un registro directo del comienzo de una convulsión obtenido a partir una red de electrodos que se habían colocado, mediante cirugía, en la superficie cortical del individuo (*A*). El registro simultáneo de los electrodos intracraneales (*B*) y de la EEGd (*C*) se realizó sin ininterrupción durante varios días. Las líneas gruesas en el gráfico (*B*) indican el comienzo de las convulsiones; las neuroimágenes muestran la localización de este comienzo (*puntos rojos*) y la difusión de las convulsiones durante los episodios (*puntos azules y verdes, cronológicamente*). Esta información facilita una intervención quirúrgica exitosa.

Dado el papel fundamental que desempeñan las redes nerviosas temporales y límbicas para la memoria, es de esperar que las convulsiones que afectan fundamentalmente dichas áreas causen una mayor alteración de la memoria reciente. Observaciones llevadas a cabo por Dan Drane, del Centro Regional para la Epilepsia en Washington, confirman que dicha afectación mnésica resulta más común en las crisis que se originan en el lóbulo temporal que en otro tipo de ataques.

La alteración de la memoria reciente que acompaña a las convulsiones de origen límbico nos ofrece una información relevante para entender su neurofisiología. Si nos faltara este tipo de memoria, nuestro período consciente iría reduciéndose cada vez más, puesto que la continuidad de tales remembranzas nos permite anticipar el futuro inmediato. ¿Recuerda lo que le ha sucedido hace un segundo? Si la respuesta es afirmativa, puede asegurar que preserva su consciencia inmediata. Incluso la reflexión durante un instante demuestra que se puede tener cierta consciencia histórica; sin ella, la consciencia funcional retrocedería a una pérdida completa de significado.

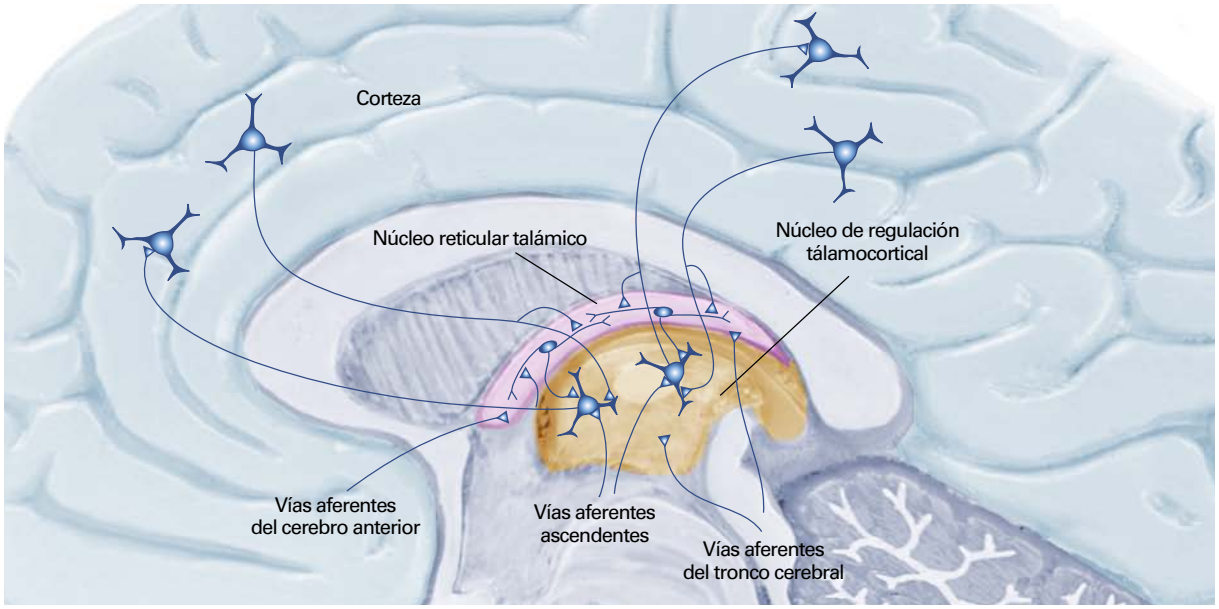
Convencido de que los mecanismos límbicos de la memoria suponen la base de la capacidad del lóbulo frontal para planificar acciones futuras, el neurocientífico sueco David Ingvar (1924-2000) calificó esta planificación de «memoria del futuro». De modo similar, el biólogo Gerald Edelman (1929-2014), premio Nobel de fisiología o medicina de 1971, reconocía la base límbica de la estructura funcional del hemisferio cerebral, por lo que describió la consciencia como el «recuerdo del presente».

Teniendo en cuenta que la consciencia requiere tanto el contexto de la memoria reciente como la proyección de sucesos en el futuro, sugerimos que la memoria inmediata constituye un componente esencial de la consciencia humana. Como se demuestra en diversos tipos de pérdida de consciencia (ataques epilépticos límbicos, delirios y demencias, entre otros), la pérdida de memoria inmediata resulta devastadora para el control consciente de la cognición. Cuando se reduce esta capacidad mnésica también merma la habilidad de anticipar el futuro. La memoria en curso nos permite reconocer a la persona y orientarnos en el espacio y en el tiempo. En un estado normal de consciencia proyectamos constantemente restos activos de la historia reciente anterior hacia el futuro inmediato, con lo que mantenemos la continuidad temporal de nuestra mente.

El análisis de los efectos de los ataques epilépticos límbicos permite interpretar la actividad neuropsicológica que vincula los mecanismos de la consciencia al tiempo. Esta interpretación novedosa puede perfeccionarse si los ataques epilépticos límbicos se contrastan con un trastorno de consciencia cuyo origen reside en convulsiones que no alteran de forma específica la memoria inmediata.

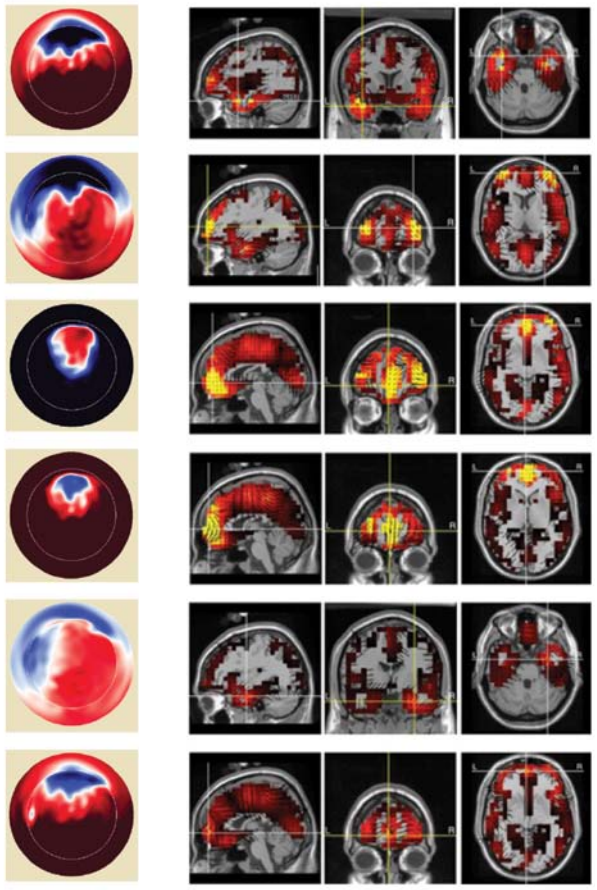
Episodios de ausencia

A pesar de que las crisis de ausencia pueden continuarse en la edad adulta, afectan sobre todo a los niños. Se trata de pérdidas momentáneas de la consciencia durante las cuales el sujeto no responde a los estímulos y se muestra incapaz de llevar a cabo cualquier acto voluntario. Sin embargo, a diferencia de la pérdida de consciencia debida a otro trastorno neurológico (por desvanecimiento, consumo de drogas o contusión), los afectados no se caen; por el contrario, parecen despiertos y orientados. Durante la crisis, el



ISTOCK / BEN-SCHONEWILLE

Un complejo circuito nervioso enlaza la corteza frontal con el tálamo. El núcleo reticular talámico regula las proyecciones talámicas a la corteza, la cual, a su vez, se halla regulada por la corteza frontal.



CORTESÍA DE DON M. TUCKER Y MARK D. HOLMES

Cada intervalo de una convulsión con un complejo punta-onda se localiza mediante la electroencefalografía densitométrica en una cartografía en color de la superficie cefálica: el rojo indica un potencial eléctrico positivo; el azul, uno negativo (*columna de la izquierda*). En las imágenes obtenidas por resonancia magnética, la actividad eléctrica puntual se representa en forma de puntos brillantes (*columnas de la derecha*).

cerebro emite unas amplias descargas con un complejo punta-onda que sugiere una afectación generalizada. Después de esta crisis, por lo común breve, el paciente prosigue su actividad previa o reanuda la conversación en el punto donde la había interrumpido, fenómeno que demuestra que había seguido orientado en el tiempo.

Las ausencias consisten en «lesiones» o interrupciones específicas de la consciencia con la característica de que no dan lugar a una pérdida de la memoria inmediata. De acuerdo con este efecto psicológico, la anatomía de las crisis de ausencia proporciona claves para descubrir circuitos del tálamo y del lóbulo frontal concretos. Estos deben mantenerse íntegros en el cerebro con el fin de disponer del control voluntario sobre el pensamiento y la acción.

Diversos resultados en animales hablan en favor de que las descargas anormales procedentes del tálamo intervienen en el desarrollo de las convulsiones que presentan complejos punta-onda y de descargas similares relacionadas con las crisis de ausencia. El tálamo puede considerarse la vía de entrada a la corteza cerebral: conecta redes que intervienen en funciones mentales específicas. Con excepción del sentido del olfato, todas las vías sensoriales y motoras entran o salen de la corteza a través de la estación reguladora del tálamo, capaz de bloquearlas. Esta estructura se halla rodeada en su mayor parte por el núcleo reticular talámico (TRN), que está formado por una fina capa de neuronas. Dicha red neuronal posee el control inhibitorio directo de la conexión talamocortical. Como un ejemplo más de la complejidad de los sistemas autorreguladores del cerebro, cabe señalar que el TRN se encuentra sometido a su vez al control cortical desde redes de las cortezas orbital y frontopolar específicas.

La prueba de una red controladora localizada en el lóbulo frontal que regula mecanismos talámicos ayuda a interpretar la actividad convulsivógena localizada en las crisis de ausencia. En nuestros estudios, mediante EEGd, de las descargas patológicas durante estas crisis encontramos que, aunque en otro tiempo se pensó que estas afectaban a amplias áreas cerebrales, las puntas se localizaban en las redes orbital y frontopolar del lóbulo frontal, las cuales ejercen una función esencial en la regulación del tálamo. Ello revela una anomalía en la actividad fisiológica de las redes frontales que altera el enlace del circuito frontotalámico. Al parecer, la descarga cortical afecta al TRN y al tálamo, fenómeno que interrumpe de esta manera el control talámico de la propia corteza y da lugar a la siguiente descarga de puntas-ondas. ¿Demuestra esto que el funcionamiento patológico de los circuitos frontotalámicos nos permite conocer las claves de sus funciones adaptativas normales? Los datos resultan complejos, puesto que sugieren una especificidad aún mayor de los circuitos que controlan la atención (aplicación de los recursos mentales) y de los responsables de la intención (propósito de la actividad mental).

Patrón del centro de atención

Basilis Zikopoulos y Helen Barbas, de la Universidad de Boston, demostraron la especificidad del control que ejerce el lóbulo frontal sobre los mecanismos talamocorticales de la atención a partir de pruebas anatómicas. Según han constatado, redes concretas en el lóbulo frontal llegan a determinadas regiones del TRN y, desde allí, a regiones específicas de los núcleos talámicos. La relevancia del control de la atención se pone de manifiesto en las vías que proceden de determinadas redes frontales (en la superficie lateral) y llegan a regiones del TRN que controlan núcleos sensoriales concretos del tálamo. Estos circuitos presentan una buena localización para controlar los focos de atención, de manera que permiten al tálamo resaltar ciertos datos sensoriales a la vez que relegan a un segundo plano otras señales que reciben.

Un fenómeno que se debe tener en cuenta es que las descargas convulsivas durante las ausencias no involucran las redes frontales que regulan la atención. En nuestros estudios con EEGd encontramos que los picos de las descargas punta-onda de las ausencias afectaban a los polos mediales frontales donde, según Zikopoulos y Barbas, se encuentran las redes conectadas con el polo rostral del TRN. Este, a su vez, enlaza con el núcleo anterior del tálamo (también tálamo límbico). Este circuito frontotalámico, más que controlar los mecanismo de la atención, parece integrar participaciones límbicas en el estado de motivación y atención. Una investigación con animales sugiere que la actividad en este circuito se encuentra relacionada con la orientación de la cabeza del individuo, lo cual, al parecer, indica sus intenciones.

Si consideramos estos circuitos funcionales específicos en los ataques de ausencias, la pérdida del control consciente de la conducta en los trastornos refleja una alteración del circuito frontotalámico, cuya integridad resulta necesaria para el control voluntario de la intención. No se trata de la atención selectiva centrada en un foco sensorial, sino del mantenimiento del estado de alerta intencional que permite la cognición y la conducta dirigidas a un objetivo motivado. Las crisis de ausencia interrumpen un componente específico de la consciencia, la intención de la persona en esos momentos.

Aunque la intención voluntaria se halla interrumpida en las crisis de ausencia, la memoria en curso permanece relativamente intacta. Ello implica que diferentes tipos de accesos produzcan un fraccionamiento de la consciencia. Durante un considerable lapso de tiempo, las convulsiones límbicas afectan la memoria inmediata de modo que, incluso después de recuperada, aparece incompleta y desordenada. Las crisis de ausencia, en cambio, provocan una interrupción más focal de la consciencia, al afectar los actos voluntarios sin suponer la interrupción de la memoria inmediata. Con esta más o menos intacta, se mantiene la orientación subjetiva en el contexto experimental del momento y, en consecuencia, se puede reanudar la conversación donde se había dejado. Si se fracciona la consciencia de forma específica, los ataques de ausencia ponen de manifiesto la especificidad tanto de lo que se ha perdido (la intención voluntaria) como de lo que se ha conservado (memoria inmediata y orientación).

Consciencia dinámica

En conclusión, los mecanismos corticolímbicos, así como los frontotalámicos son necesarios para la consciencia. Parecen constituir el enlace entre los patrones de coherencia psicológica y las redes cerebrales, lo que representa tan solo una parte de la acción coordinadora de estas redes. Dicha coherencia debe organizarse en el marco general de la integración vertical que cuenta con el soporte de los sistemas de proyección del tronco cerebral regulador del estado de vigilia cerebral.

Muchas personas consideran la consciencia como un fenómeno unitario, una cualidad indivisible de la subjectividad. Sin embargo, la división de la consciencia durante los ataques de ausencia apoya la hipótesis de que algunos aspectos del control voluntario explícito, mediado por los circuitos frontotalámicos, pueden distinguirse de la continuidad de la memoria inmediata. Si se consideran de manera conjunta los datos anatómicos y la especificidad de las descargas de ausencias, se constata que el foco de la atención puede separarse del control voluntario del estado intencional. Si podemos separarlos mediante análisis neuropsicológicos, ¿podemos reconocer estos componentes de la consciencia en la experiencia subjetiva?

Desde una perspectiva clínica, el conocimiento de los mecanismos neurológicos de las convulsiones epilépticas puede mejorar el diagnóstico y establecer terapias farmacológicas o quirúrgicas más apropiadas. Si entendemos las disociaciones de la consciencia causadas por accesos epilépticos específicos, estamos en condiciones de afrontar mejor los problemas psicológicos de estos pacientes.

Desde una perspectiva científica, es necesario distinguir los componentes neurofisiológicos de la consciencia para aclarar las funciones psicológicas de los mecanismos neurológicos que regulan las grandes redes cerebrales.

Y, finalmente, desde una perspectiva filosófica, podemos encontrar una oportunidad para disociar la consciencia en sus componentes funcionales dejando de considerarla como una cualidad indivisible de la mente.

Con todo, tal vez la interdisciplinaria constituya la alternativa más importante. Nos dirigimos hacia una fenomenología científica en la que un análisis biológico objetivo permite una apreciación más exacta de los vínculos entre la consciencia y la experiencia personal. ★

© American Scientist Magazine

PARA SABER MÁS

Are «generalized» seizures truly generalized? Evidence of localized mesial frontal and frontopolar discharges in absence. M. D. Holmes, M. Brown y D. M. Tucker en *Epilepsia*, vol. 45, n.º 12, págs. 1568-1579, 2004.

Discharge in ventromedial frontal cortex during absence spells. D. M. Tucker, M. Brown, P. Luu y M. D. Holmes en *Epilepsie and Behaviour*, vol. 11, págs. 546-557, 2007.

Mind from body: Experience from neural structure. D. M. Tucker. Oxford University Press, 2007.

The neural correlates of consciencious: An update. G. Trononbi y C. Koch en *Annals of the New York Academy of Science*, vol. 1124, págs. 239-261, 2008.

EN NUESTRO ARCHIVO

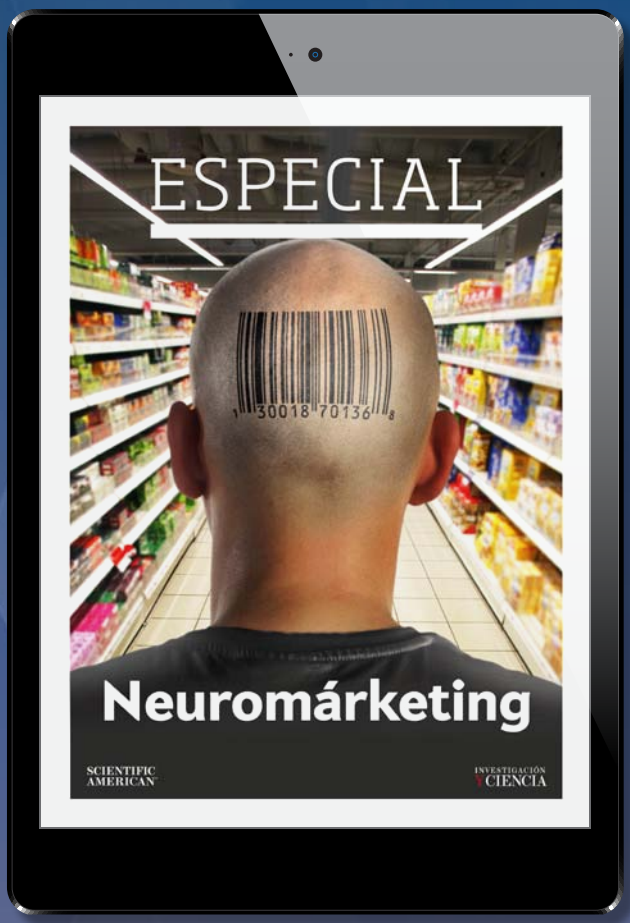
Epilepsia. C. Hoppe en *MyC* n.º 16, 2006.

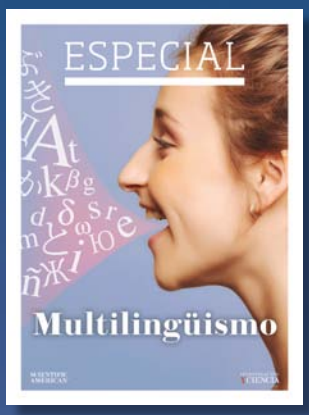
Convulsiones bajo el microscopio. S. Remy y C. Elger en *MyC* n.º 52, 2012.

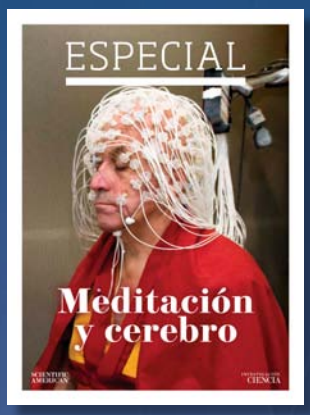
ESPECIAL

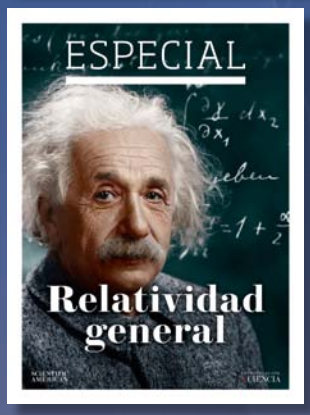
MONOGRÁFICOS DIGITALES

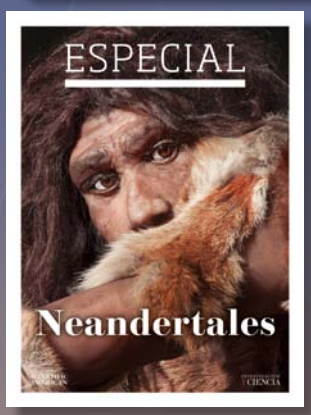
Descubre los monográficos digitales que reúnen nuestros mejores artículos (en pdf) sobre temas de actualidad

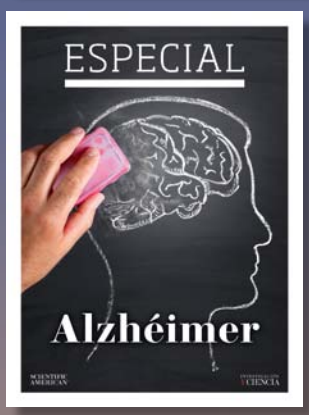


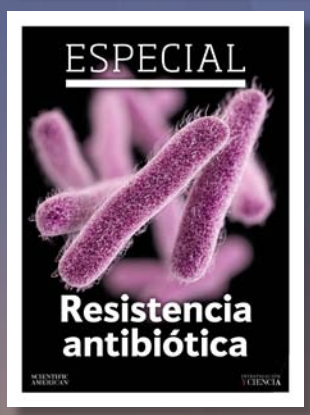












www.investigacionyciencia.es/revistas/especial

Prensa Científica, S.A.

Claves moleculares de la anestesia general

CHRISTIAN P. MÜLLER

ISTOCKPHOTO / SISTER SARAH

La administración de una anestesia general a los pacientes forma parte de la rutina en la actividad quirúrgica de un hospital.

ANESTESIA Los médicos conocen numerosas sustancias que permiten la desconexión rápida y segura de la consciencia del paciente antes de una intervención quirúrgica. Sin embargo, los procesos cerebrales que acontecen durante la anestesia total constituyen todavía un enigma

Diez, nueve, ocho, siete... Los labios del paciente acostado en la camilla del quirófano no logran pronunciar el número seis. El narcótico ha empezado a actuar. En el transcurso de pocos segundos, el propofol, uno de los anestésicos que más se usan en la actualidad, ha sumido al sujeto en un estado de profunda inconsciencia. Durante el tiempo requerido para la intervención quirúrgica permanecerá incapaz de moverse e insensible al dolor.

Pese a que, en general, apreciamos nuestra consciencia, en ciertos momentos preferimos carecer de ella, ahora bien, siempre bajo la condición de recuperarla más tarde sin inconvenientes y en toda su plenitud. Esto mismo sucede cuando nos operan: no deseamos quedarnos conscientes durante la intervención quirúrgica, pues normalmente produce dolor y desencadena movimientos reflejos de defensa. En una interrupción artificial de la consciencia se produce también un paréntesis en la memoria y la pérdida de todo tipo de control sobre el cuerpo.

¿Qué ocurre en el cerebro durante ese tiempo? A lo largo de décadas, anestesistas y neurólogos se han esmerado en contestar a la pregunta. Parece que hoy la respuesta se encuentra más al abasto, puesto que planteamientos metodológicos dispares han permitido conocer con mayor detalle el modo en que los diversos componentes de la anestesia general actúan sobre las neuronas a partir de diferentes mecanismos bioquímicos.

La historia de la medicina abunda en intentos de interrumpir la sensación dolorosa y la consciencia de las personas. Numerosas plantas contienen sustancias que pueden provocar un estado similar al sueño, con insensibilidad a los estímulos externos. Entre ellas destaca la amapola adormidera, de la que se obtiene la morfina. También el alcohol que procede de la fermentación de frutas y cereales origina una pérdida de consciencia si se administra en dosis elevadas.

Sin embargo, los narcóticos naturales conllevan un problema: la cantidad de sustancia orgánica necesaria para producir un «apagón cerebral» se encuentra peligrosamente próxima a la dosis mortal. Para solventar este riesgo, la medicina moderna opta por el uso de sustancias sintéticas.

Con los años, se ha conseguido un abundante arsenal de agentes que producen de forma rápida y segura un estado de inconsciencia en los humanos. El conocimiento exacto del modo en que actúa una sustancia a nivel celular para conseguir el efecto deseado posee un doble interés: por un lado, puede ayudar al desarrollo de fármacos más eficaces y de mejor tolerancia; por otro, permite un entendimiento más detallado de los mecanismos que contribuyen al estado de consciencia.

En síntesis: Cuando las luces se apagan

1 La anestesia general puede definirse como un estado de pérdida de consciencia pasajero provocado mediante fármacos. La memoria y el dolor también desaparecen.

2 Los fármacos para la anestesia general actúan sobre proteínas de los canales iónicos de las membranas de las neuronas; alteran la actividad de numerosos sistemas de neurotransmisores.

3 De esta forma, inhiben áreas cerebrales y el flujo de señales entre el tálamo y la corteza cerebral.

Sin embargo, más de un siglo de experimentación con los anestésicos no ha permitido vislumbrar los procesos de acción de estas sustancias. Hasta hace relativamente poco. En un trabajo pionero de 1976, Keith Miller y Kam-Yee Pang, de la Escuela de Medicina de Harvard, demostraron que el efecto narcotizante de la mayoría de estos productos depende de su capacidad de unirse a los lípidos de la membrana de las neuronas. Desde antiguo se sabe que las membranas de las neuronas las forman fundamentalmente los lípidos, pero sigue siendo un misterio el modo en que los intercambios bioquímicos alteran la función de las células nerviosas y cómo paralizan toda una población neuronal. ¿Es posible que la unión de los anestésicos a los lípidos constituya un fenómeno secundario, mientras que los mecanismos decisivos ocurren en otro lugar? Tal sospecha dirige el interés hacia otro tipo de moléculas, a saber, las proteínas de los canales iónicos.

Diana novedosa

La nueva hipótesis ha desplazado a la anterior, basada en los lípidos. Los anestésicos producen sus múltiples efectos al interaccionar con proteínas situadas en los orificios que presentan las membranas de las neuronas. Los neurofarmacólogos han identificado a este respecto una serie de mecanismos. De estos, los principales afectan a los canales iónicos que dependen de ligandos responsables de que las neuronas puedan transmitir señales a través de sus prolongaciones, en ocasiones de gran longitud.

Moléculas mensajeras especiales se unen a los canales ionicos, con lo que alteran su permeabilidad para diversas partículas con carga eléctrica. Ello, a su vez, produce una mayor excitabilidad o inhibición de la célula en cuestión.

Las proteínas de los canales iónicos representan el punto de actuación más importante de los anestésicos. Nuestro cerebro dispone de un gran número de neurotransmisores. Grosso modo puede distinguirse entre mensajeros rápidos y específicos de otros lentos y genéricos. Al primer grupo corresponde el sistema glutamatérgico, con el neurotransmisor excitante glutamato, así como el sistema GABAérgico, en el que actúa el neurotransmisor inhibidor ácido gamma-amino-butírico (GABA). Numerosos moduladores inespecíficos influyen en su acción, entre ellos, sistemas de proyección ampliamente distribuidos por el cerebro que utilizan como transmisores acetilcolina, dopamina, serotonina o noradrenalina.

Según el lugar de las proteínas receptoras neuronales donde actúe el anestésico, se alterará el nivel de estímulo de los sistemas glutamatérgico y GABAérgico. Aun así, resulta curioso que aunque casi todos los anestésicos conocidos se unen a los receptores apenas alteran la liberación de glutamato y de GABA por sí mismos. Es probable que muchos de los efectos de una anestesia general acontezcan en el terreno de los neurotransmisores moduladores.

Activación de los inhibidores

El receptor $GABA_A$ resulta de suma importancia. Como su nombre indica, se activa mediante el neurotransmisor GABA, el inhibidor más destacado del cerebro humano. Se encuentra en todas las áreas cerebrales, incluida la médula espinal. Una activación del receptor $GABA_A$, situado en la membrana de las neuronas, dificulta la transmisión de estímulos neuronales. El alcohol y otras drogas se unen también al receptor $GABA_A$. Ya que se halla distribuido por múltiples regiones del cerebro, origina una disminución general de la actividad neuronal.

Según se ha descubierto, existen diversos subtipos de receptores $GABA_A$, los cuales se diferencian entre sí en su estructura proteica, por lo que su sensibilidad para unirse a los neurotransmisores también difiere. Una serie de componentes proteicos (las unidades α, β, γ, δ, ε y π) conforman el arsenal de tipos de receptores $GABA_A$. De cada uno de estos componentes existen, a su vez, diversas variantes (por ejemplo, de $\alpha 1$ a $\alpha 6$).

En los años noventa del pasado siglo, Uwe Rudolph, de la Escuela de Medicina de Harvard en Belmont, y Bernd Antkowiak, de la Universidad de Tubinga, investigaron el modo en el que actúan diversos anestésicos sobre el receptor $GABA_A$. Para ello se sirvieron de animales transgénicos. Descubrieron que incluso sustancias de distinta composición química modulaban el complejo molecular del receptor en los mismos lugares. Mientras

CUATRO EFECTOS BÁSICOS DE LA ANESTESIA

Amnesia. Los acontecimientos que tienen lugar durante la anestesia no dejan ninguna huella de memoria en el cerebro.

Sedación. La reacción a los estímulos sensoriales se halla fuertemente disminuida; la consciencia, muy apagada o anulada por completo.

Inmovilidad. Existe una pérdida de reflejos motores reactivos a estímulos sensoriales, en especial, los dolorosos.

Analgesia. Durante la narcosis, la sensación subjetiva de dolor se halla reducida o bloqueada.

EL AUTOR

Christian P. Müller es psicólogo y profesor de medicina de la adicción en la Clínica Psiquiátrica y Psicoterapéutica del Complejo Clínico de la Universidad de Erlangen.

que las subunidades α y β cumplían una función esencial en la producción del efecto sedante de la benzodiazepina o del enflurano, el etomidato y el propofol actuaban de forma exclusiva en las subunidades β.

Ambas influyen, en especial, en las redes neuronales del cerebro que nos provocan el sueño. En 2002, un grupo dirigido por Nicholas Franks, del Colegio Imperial de Londres, demostró que los anestésicos se unen a los receptores $GABA_A$ en el núcleo tuberomamilar y en el área preóptica del hipotálamo. Dichas regiones regulan el sueño y la vigilia.

Sin embargo, no todas las sustancias narcóticas guardan una relación con el receptor $GABA_A$. Anestésicos muy potentes, como la ketamina y el gas hilarante (monóxido dinítrico), se unen a otra proteína de los canales iónicos: el receptor NMDA, con lo que el transmisor glutamato ya no consigue activarlo.

El glutamato es el neurotransmisor estimulante cerebral por excelencia. Sin él, prácticamente seríamos incapaces de percibir estímulos del ambiente que nos rodea ni de retener nuevos contenidos en la memoria. Ello concuerda con el hecho de que los receptores NMDA, que bloquean la ketamina y el gas hilarante, abundan en especial en el tálamo y en las áreas de la corteza cerebral que reciben señales de los órganos de los sentidos. El hipocampo (central de la memoria) dispone también de un gran número de estos canales iónicos específicos. Los anestésicos se unen de forma más o menos fija a estos receptores, por lo que atenúan, unas veces más y otras menos, la percepción sensorial y la memoria.

Otro tercer tipo de proteína de membrana sobre el que actúan los anestésicos es el receptor de acetilcolina. El neurotransmisor acetilcolina (ACh) desempeña una función decisiva en la actividad rítmica cerebral. Este mensajero posibilita que el cúmulo de estímulos individuales que nos llegan de manera continua se asocien para formar una imagen conjunta. En otras palabras, se trata de una sustancia imprescindible para los procesos de fijación de la atención y el aprendizaje.

Desde el punto de vista neuronal, la acetilcolina regula la actividad de las redes neuronales tálamo-corticales y del hipocampo, como se aprecia en el electroencefalograma. Los médicos utilizan este registro para saber el grado de consciencia del paciente durante una intervención quirúrgica.

Cuando la transmisión colinérgica de la señal se bloquea a partir de un proceso químico, la primera consecuencia es una pérdida de concentración y capacidad de percepción; también pueden aparecer alucinaciones. En la mayoría de las ocasiones, un bloqueo total conduce a una pérdida de consciencia. Un grupo dirigido por Michael Alkire, de la Universidad de California en Irvine, halló que los principales responsables de este efecto son los receptores nicotínicos de la acetilcolina en el tálamo (central para el procesamiento de las informaciones sensoriales).

Todo ello no es suficiente. Los anestésicos actúan asimismo sobre otras proteínas de los canales iónicos: los receptores 3 de glicina y serotonina, los receptores AMPA activados por glutamato y los receptores de cainato. Por otra parte, determinadas proteínas de la membrana neuronal alteran las vías químicas de señalización en el interior de la célula, lo que también produce efectos sobre la función de la red neuronal afectada. Ello explica la dificultad por desentrañar al detalle los procesos bioquímicos que ocurren durante una anestesia general. Numerosos neurotransmisores pueden encontrarse implicados, los cuales, a su vez, pueden influenciarse mutuamente.

SOUTHWORTH & HAWES / DOMINIO PÚBLICO

El daguerrotipo, de 1850, exhibe una representación escénica de la supuesta primera intervención quirúrgica bajo anestesia general con éter. La operación se llevó a cabo en 1846 en Boston.

Aturdido pero ¿despierto?

El efecto de la anestesia abarca diversos niveles cerebrales en los que intervienen distintos procesos neuronales. Las capacidades de percibir estímulos ambientales, moverse o sentir dolor desaparecen por separado. Entre una y dos de cada 1000 intervenciones quirúrgicas acontece una vigilia intraoperatoria: el paciente se despierta en el ínterin, aunque es incapaz de moverse. Este fenómeno un tanto extraordinario puede apreciarse a través del electroencefalograma que se efectúa de forma simultánea al paciente.

Tres grupos de anestésicos

Kevin Solt y Stuart Forman, de la Escuela de Medicina de Harvard, han clasificado los anestésicos de uso habitual según la actuación de sus moléculas. Dentro de cada grupo, las sustancias intervienen de forma similar en la transmisión de señales en el cerebro. En el plano funcional, pueden diferenciarse, en cada caso, los componentes de sedación, inmovilidad, analgesia y amnesia.

Grupo I: Comprende los anestésicos etomidato, propofol y pentobarbital. Estos presentan un potente efecto anulador de la consciencia y amnésico. Sin embargo, sus propiedades inmovilizadoras son más bien débiles. Estimulan en especial el receptor $GABA_A$ y reducen la actividad de la acetilcolina en el cerebro. Apenas presentan actividad sobre los neurotransmisores moduladores dopamina, serotonina y noradrenalina.

Grupo II: Incluye el gas hilarante, el gas noble xenón, así como el ciclopropano y la ketamina. Estos anestésicos ejercen poco efecto sobre la consciencia y la movilidad, pero poseen un potente efecto analgésico. Apenas interactúan con los receptores $GABA_A$ aunque inhiben el receptor NMDA y el receptor nicotínico de la acetilcolina.

Asimismo, aumentan la actividad extracelular de la acetilcolina, efecto que explica su poco efecto perturbador de la percepción y de la vigilia. La disminución de la actividad del glutamato después de la administración de ketamina parece ser un mecanismo esencial para los efectos hipnóticos de estos anestésicos. El gas hilarante, por el contrario, eleva la actividad de la endorfina β, fenómeno que explica un efecto ligeramente euforizante y analgésico.

Grupo III: Abarca los anestésicos gaseosos isoflurano, sevoflurano, enflurano, desflurano, halotane y cloroformo. Estos poseen un efecto fuertemente hipnótico, amnésico e inmovilizante. También enlentecen las corrientes cerebrales, modulan los receptores $GABA_A$ y otras vías transmisoras de señales en las neuronas. Además, reducen la actividad acetilcolínica en el cerebro, fenómeno que origina una pérdida de memoria. La disminución de la actividad serotonínica puede poner fuera de combate a la musculatura corporal. Debido a su amplio perfil de reacciones, los narcóticos del grupo III se cuentan entre los más utilizados en anestesia.

«Correlating the clinical actions and molecular of general anaesthetics». K. Solt, S. Forman en *Current Opinion in Anaesthesiology*, vol. 20, págs. 300-306, 2007

Del modelo ascendente al descendente

Con todo, en la actualidad resulta posible valorar de manera precisa las repercusiones funcionales de algunos de estos procesos bioquímicos. Una inhibición de la acetilcolina y de la noradrenalina provoca un estado de hipnosis y de pérdida de la memoria; una debilitación de la actividad de la dopamina y de la serotonina frena la motilidad, y el opiáceo endógeno β-endorfina actúa como analgésico.

Hasta ahora solo disponemos de trabajos que intentan explicar la anestesia general como resultado de interacciones bioquímicas en las neuronas. Sin embargo, existe una alternativa a este planteamiento ascendente (*bottom-up*): una estrategia descendente (*top-down*). Desde este punto de vista, se indagan, en primer lugar, los efectos que produce la anestesia sobre funciones cerebrales complejas. Para ello se emplea el electroencefalograma (EEG) u otros métodos de neuroimagen modernos.

Las diversas técnicas revelan que la anestesia general no solo disminuye la actividad en la corteza cerebral, también inhibe áreas situadas en profundidades subcorticales (el tálamo, entre otras). Por otra parte, una interrupción del flujo de información entre la amígdala y el hipocampo contribuye a la pérdida de memoria que aparece con frecuencia.

En fecha reciente, los investigadores intentan entrelazar los planteamientos descendente y ascendente. En este sentido, han llegado a una nueva sistemática de los anestésicos. Ya que las sustancias desarrolladas hasta ahora son a nivel químico y farmacológico muy distintas, algunos investigadores, entre ellos Alkire, dudan de que exista un denominador común en todas ellas. En su opinión, resulta más probable que desconecten la consciencia por vías dispares. De esta manera, la búsqueda de un único principio de la narcosis parece fuera de lugar.

En definitiva, los anestésicos pueden actuar sobre una serie de «tuercas neuronales» para paralizar la consciencia. El delicado equilibrio funcional entre cada una de las áreas cerebrales se colapsa temporalmente y el motor se detiene, hasta que se aprietan de nuevo todos los tornillos y el viaje continúa. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 64

PARA SABER MÁS

Consciousness and anesthesia. M. T. Alkire et al. en *Science*, vol. 322, págs. 876-880, 2008.

The in vivo neurochemistry of the brain during general anesthesia. C. P. Müller et al. en *Journal of Neurochemistry*, vol. 119, págs. 419-446, 2011.

Accede a la HEMEROTECA DIGITAL

DE TODAS NUESTRAS PUBLICACIONES

Suscríbete y accede a todos los artículos

PAPEL
Elige la modalidad mixta y recibirás también las revistas impresas correspondientes al período de suscripción

ARCHIVO
Encuentra toda la información sobre el desarrollo de la ciencia y la tecnología durante los últimos 25 años

DIGITAL
Accede desde cualquier ordenador o tableta al PDF de más de 8000 artículos elaborados por expertos

www.investigacionyciencia.es

Prensa Científica, S.A.

ESTADO VEGETATIVO Los avances en el campo de la neuroimagen ofrecen alternativas novedosas para mejorar el diagnóstico de pacientes en estados de consciencia alterada tras una lesión cerebral

Una nueva era en el diagnóstico del estado vegetativo

DAVINIA FERNÁNDEZ ESPEJO

Hasta no hace mucho tiempo, accidentes de tráfico graves o paradas cardiorrespiratorias conducían, la mayoría de las veces, al fallecimiento del afectado. Gracias a los avances en la atención médica de urgencia y la universalización del uso de la ventilación asistida desde los años cincuenta del pasado siglo, en la actualidad numerosos pacientes sobreviven a estos percances. No obstante, a menudo con importantes secuelas, entre ellas, la lesión cerebral.

Aunque los mecanismos implicados en una lesión cerebral traumática (como la que puede acontecer en un accidente de tráfico) o hipóxico-isquémica (por períodos prolongados de anoxia tras paradas cardiorrespiratorias o semiahogamientos) son muy distintos, la progresión que presenta el paciente en la fase aguda es similar. Durante las primeras horas tras el accidente, el paciente entra en una fase de **coma**, que no suele durar más de unos días o semanas. Una vez superada esta fase, gran parte de ellos recuperan la consciencia y progresan de forma favorable. Sin embargo, un porcentaje relevante de afectados abren los ojos y comienzan a realizar movimientos espontáneos, aunque no muestran signos de consciencia. Entran en lo que se conoce como **estado vegetativo**.

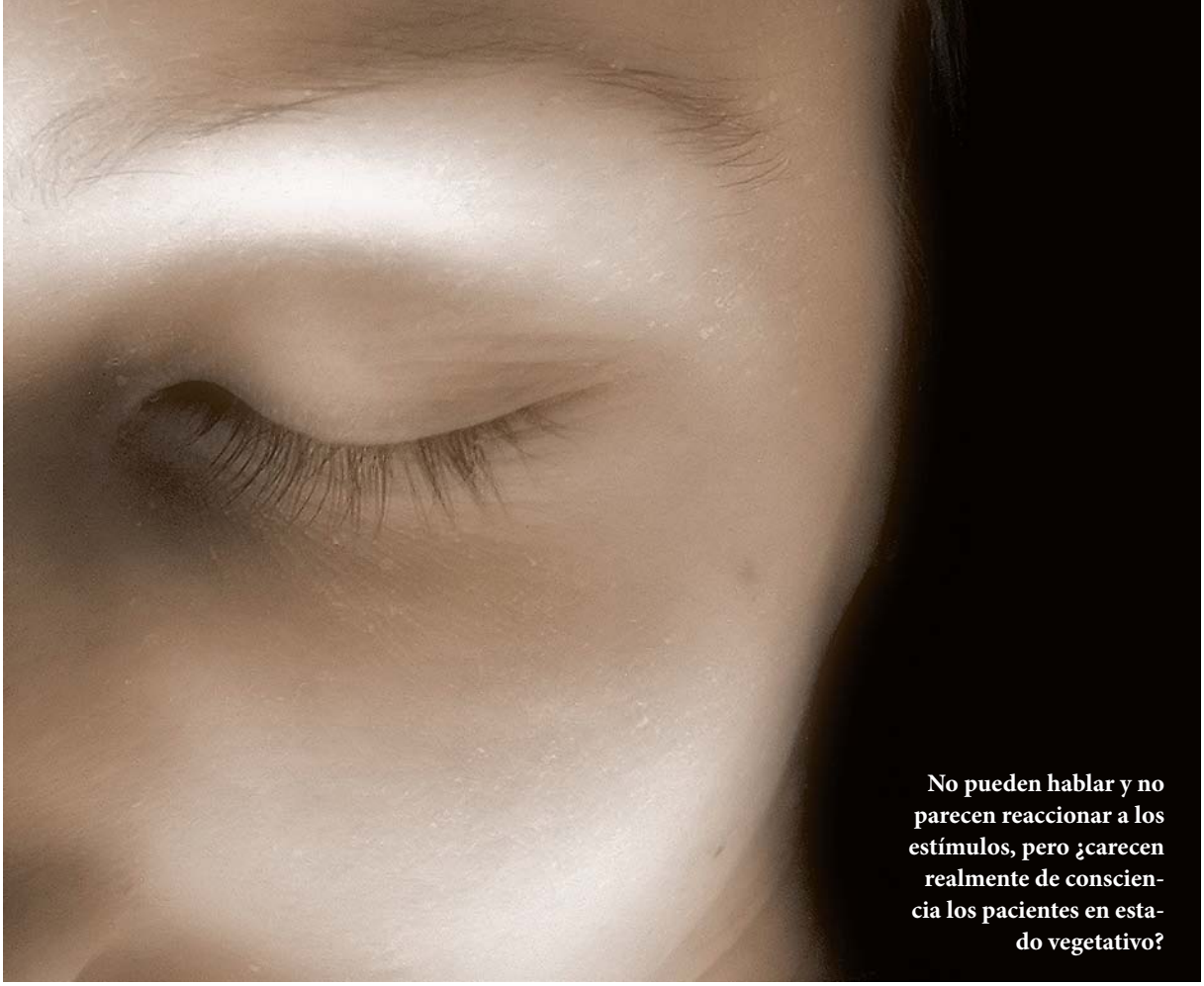
El término estado vegetativo es reciente. No fue acuñado hasta 1972, cuando Bryan Jennett, neurocirujano del Hospital General de Glasgow, y Fred Plum, neurólogo del Hospital Presbiteriano de Nueva York, lo utilizaron para describir un creciente grupo de pacientes que, tras sufrir un daño cerebral grave, manifestaban ciclos de sueño y vigilia junto con un mantenimiento autónomo de las funciones respiratoria y cardiaca (principales diferencias respecto a los pacientes en coma), pero no

En síntesis: Dictamen difícil

1 En los últimos años, se han puesto de manifiesto las dificultades en el diagnóstico del estado vegetativo. Se estima que el cuarenta por ciento de los pacientes reciben un diagnóstico incorrecto.

2 Los avances realizados en neuroimagen funcional han permitido abordar este problema desde nuevas perspectivas.

3 Las nuevas técnicas han facilitado la identificación de un nuevo grupo de pacientes que retienen capacidades cognitivas muy superiores a las que son capaces de mostrar de manera externa.



No pueden hablar y no parecen reaccionar a los estímulos, pero ¿carecen realmente de consciencia los pacientes en estado vegetativo?

ISTOCKPHOTO / PETE ROCKWELL

presentaban comportamientos que demostrasen consciencia de sí mismos o de su entorno. En la actualidad, existe consenso sobre las pautas diagnósticas y de manejo que deben seguirse en estos casos: las recomendadas por el Real Colegio de Médicos de Londres y el estadounidense Grupo de trabajo multidisciplinar sobre estado vegetativo persistente (Multi-Society Task Force on Persistent Vegetative State) que incluye, entre otras, la Academia Americana de Neurología y de la Sociedad de Neurología Infantil. Ambos grupos recogen la definición inicial de Jennett y Plum y destacan que estos pacientes son incapaces de reaccionar de modo intencional a la estimulación; tampoco manifiestan ninguna capacidad comunicativa.

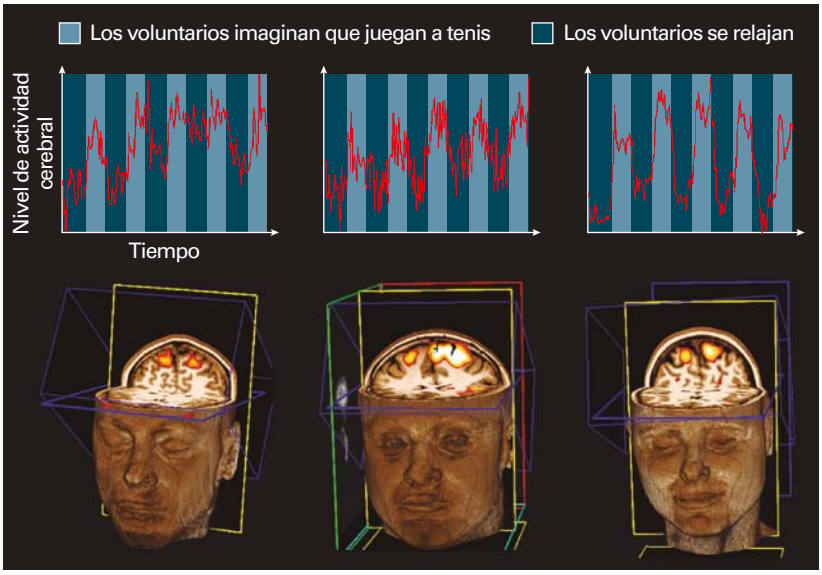
En los casos en los que no existe una patología concomitante con la lesión cerebral que reduzca la esperanza de vida, la persona en estado vegetativo puede sobrevivir décadas en dicho estado o comenzar a mostrar signos fluctuantes de consciencia de sí misma o del medio. Es decir, presenta un **estado de mínima consciencia**. Esta categoría diagnóstica fue propuesta en 2002 por Joe Giacino, director de la unidad de Rehabilitación Neuropsicológica en el Hospital General de Massachusetts, e incluye un conjunto más heterogéneo de pacientes: desde los que muestran comportamientos como el seguimiento visual de objetos en movimiento, hasta los que se muestran capaces de seguir órdenes sencillas, mas carecen de capacidad comunicativa.

El problema diagnóstico

Diferenciar a los pacientes en estado de mínima consciencia de aquellos en estado vegetativo no es tarea fácil. Al contrario de lo que ocurre en otras patologías neurológicas en las que el diagnóstico definitivo se alcanza cuando se confirman determinadas anormalidades en el tejido cerebral (por ejemplo, depósitos de amiloide beta u ovillos neurofibrilares en la enfermedad de Alzheimer), el dictamen médico en las alteraciones de consciencia es siempre sintomatológico. El proceso diagnóstico se basa en la evaluación clínica exhaustiva y repetida del repertorio de comportamientos tanto espontáneos como los que se provocan al sujeto con el objetivo de determinar si es capaz de interactuar con su entorno de manera intencional. En numerosos casos, resulta extremadamente complejo determinar si un comportamiento es reflejo o está mediado de forma cognitiva. (Es sabido que algunas personas en estado vegetativo presentan respuestas reflejas de llanto. Sin embargo, podría ocurrir que, para

LA AUTORA

Davinia Fernández Espejo, doctora en biomedicina, es investigadora posdoctoral en la Universidad de Ontario Occidental.



TODAS LAS IMÁGENES DE ESTE ARTÍCULO: CORTESÍA DE DAVINIA FERNÁNDEZ ESPEJO

Cuando un voluntario sano se imagina jugando al tenis (o moviendo vigorosamente la mano) se activa el área motora suplementaria del cerebro (*abajo*). En la parte superior de la figura se observa el aumento de la actividad en esta región cerebral cada vez que se solicita al participante que se imagine la acción; en cambio, disminuye cuando se le pide que se relaje. Ello demuestra que el sujeto sigue las órdenes de forma adecuada. En torno al 20 por ciento de los pacientes en estado vegetativo son capaces de realizar esta tarea y mostrar patrones de activación equiparables a los de individuos sanos.

alguna de ellas, esta fuera su única forma de comunicar sensación de malestar, dolor, etcétera. La diferencia entre el llanto reflejo y el voluntario es sutil y subjetiva; ello hace el diagnóstico diferencial tremendamente problemático.)

En numerosos casos, además, el déficit de consciencia coexiste con carencias motoras graves que impiden al afectado responder de forma normal, lo cual complica todavía más el proceso diagnóstico. Problemas como estos fueron abordados por Keith Andrews, del Real Hospital de Neurodiscapacidad de Londres, y Nancy Childs, del Centro de Rehabilitación de Austin, en sendos estudios publicados a mediados de los años noventa, en los que se vio que más del 40 por ciento de los pacientes en estado vegetativo habían sido diagnosticados de manera incorrecta. Los autores comprobaron que, cuando estos sujetos eran evaluados por equipos de expertos, manifestaban signos de consciencia, parcial o total. Algunos de ellos se encontrarían en un estado de mínima consciencia, pero otros serían plenamente conscientes, por lo que pertenecerían al cuadro clínico conocido como **síndrome de enclaustramiento**.

Tras esos hallazgos se desarrollaron herramientas específicas para la evaluación diagnóstica de pacientes con alteraciones de consciencia. Se insistió en la necesidad de que pasaran a sustituir las evaluaciones clínicas no estructuradas o la utilización de otras escalas de uso extendido en la clínica neurológica, pero no adecuadas para este propósito (entre ellas, la Escala de Coma de Glasgow). En la actualidad se recomienda el uso de la Escala de Recuperación del Coma Revisada, creada por Joe Giacino y de reciente adaptación al castellano por el equipo del Servicio de Neurorrehabilitación y Daño Cerebral del Hospital NISA Valencia. No obstante, en un estudio publicado en fecha reciente por investigadores de la Universidad de Lieja se demostró que, a pesar del desarrollo de estas escalas y la publicación de las nuevas pautas, el porcentaje de diagnósticos incorrectos no ha variado de forma destacable en los últimos años: sigue situándose por encima del 40 por ciento.

No cabe duda de que un diagnóstico correcto es esencial para un buen abordaje terapéutico. En estos pacientes, las implicaciones de uno erróneo van mucho más allá. Por un lado, el diagnóstico de estado vegetativo conlleva la asunción de una falta completa de consciencia y de comprensión del lenguaje, lo cual ejerce un profundo impacto en las actitudes, el comportamiento y la motivación de la familia, los cuidadores, el personal de enfermería, etcétera. En los casos más desfavorables, el paciente puede verse totalmente privado de estimulación. Pero además, el diagnóstico tiene profundas impli-

GLOSARIO

Coma: Estado agudo grave de pérdida total de alerta y consciencia.

Estado de mínima consciencia: Condición clínica en la que el paciente muestra períodos prolongados de alerta (ojos abiertos) así como signos fluctuantes de consciencia de sí mismo o del entorno.

Estado vegetativo: Condición clínica en la que el paciente muestra períodos prolongados de alerta (ojos abiertos) pero no respuestas voluntarias o dirigidas ante la estimulación externa ni otros signos de consciencia de sí mismo o del entorno.

Síndrome de enclaustramiento: Condición clínica en la que el paciente es plenamente consciente y mantiene sus capacidades mentales, pero sufre una parálisis completa de casi todos los músculos del cuerpo, la cual le impide moverse o comunicarse.

Del síndrome apálico al estado de vigilia sin respuesta

Antes de 1972, no existía una terminología clara para referirse a los pacientes en estados de consciencia alterada tras sufrir daño cerebral. Hasta entonces, solo existían en la bibliografía informes aislados de casos únicos en los que se barajaban nombres muy diversos como «síndrome apálico», «mutismo acinético», «demencia postraumática» o, el aún de uso extendido, «coma vigil». Ante este escenario de confusión terminológica, Bryan Jennett, del Hospital General de Glasgow, y Fred Plum, del Hospital Presbiteriano de Nueva York, publicaron en 1972, en la revista *The Lancet*, el artículo «Persistent vegetative state after brain damage. A syndrome in search of a name», en el que utilizaron por primera vez el término «vegetativo». Los autores eligieron este término para destacar la preservación del funcionamiento del sistema nervioso vegetativo (sistema nervioso autónomo), reflejada por la presencia de ciclos de sueño y vigilia, respiración autónoma (sin necesidad de ventilación asistida), digestión o termorregulación.

El término fue rápidamente aceptado por la comunidad médica: en los años noventa es recogido como la única alternativa válida por el Real Colegio de Médicos de Londres y el Grupo de trabajo multidisciplinar sobre estado vegetativo persistente (Multi-Society Task Force on Persistent Vegetative State), creadores de las guías de manejo y atención terapéutica en estados de alteración de consciencia.

El término *estado vegetativo* se mantiene en la actualidad. Sin embargo, en los últimos años, varios autores han criticado su uso por las connotaciones negativas que ha acumulado en sus más de treinta años de uso. A pesar de hallarse lejos de la intención de sus impulsores, se ha asociado con «vegetar» o vivir una «vida vegetal», es decir, funcionar como una entidad orgánica desprovista de sensaciones, pensamientos, etcétera. Es común encontrarse con la utilización del término peyorativo «vegetal» en medios de comunicación, Internet o conversaciones cotidianas a nivel coloquial. Ante este panorama y con el fin de evitar este uso, en 2010 el Grupo de trabajo europeo sobre trastornos de consciencia (European Task Force on Disorders of Consciousness) propuso emplear «síndrome de vigilia sin respuesta» en su lugar, término neutro y descriptivo de los criterios diagnósticos: períodos prolongados de vigilia con ausencia de respuesta ante una orden. La nueva propuesta no está exenta de detractores. Solo el tiempo dirá si es aceptada o no por la comunidad médica global.

caciones legales: hasta el momento no se ha autorizado la retirada de nutrición e hidratación a ningún paciente en estado de mínima consciencia.

¿Neuroimagen como solución?

En los últimos años, se ha experimentado un interés creciente por el estudio de pacientes en estados alterados de consciencia desde el campo de la neuroimagen. En una colaboración llevada a cabo con uno de los pioneros en este campo, Adrian Owen, en la actualidad en la Universidad de Ontario Occidental, nos planteamos desarrollar un método sencillo que permitiera diagnosticar a los pacientes de forma adecuada. Para ello, nos basamos en estudios post mórtem clásicos que describían diferencias en la gravedad de las lesiones en la sustancia blanca cerebral y el tálamo de individuos que habían fallecido en estado vegetativo y aquellos que se encontraban en estado de mínima consciencia cuando murieron. Hasta ese momento, estos cambios solo habían sido visibles en estudios post mórtem, dado que permiten analizar el tejido cerebral con mayor detalle que las técnicas de neuroimagen estándar. Nuestro interés, sin embargo, radicaba en la posibilidad de identificar esas diferencias en vida, cuando el diagnóstico tiene impacto en el cuidado del paciente. Para ello utilizamos la técnica de imagen por tensor de difusión, la cual permite caracterizar la microestructura del tejido cerebral mediante el estudio del movimiento de las moléculas de agua. Dicha técnica resulta especialmente sensible a los cambios en la materia blanca y las estructuras de sustancia gris profundas (el tálamo, entre otras); además, facilita la detección de diferencias sutiles que, en las secuencias de resonancia magnética, pasan desapercibidas.

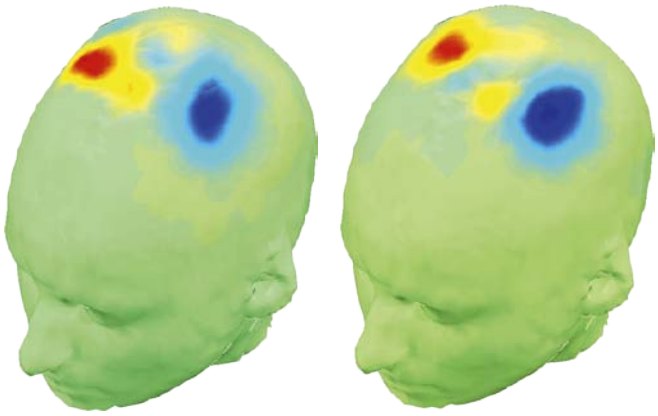
Estudiamos a un grupo amplio de pacientes evaluados de forma exhaustiva durante varios días por un equipo de expertos para garantizar un diagnostico correcto. También se les practicaron pruebas de resonancia magnética. Con las imágenes por tensor de difusión confirmamos los hallazgos neuropatológicos que se habían descrito en estudios post mórtem anteriores: en concreto, un mayor daño en la sustancia blanca y el tálamo en los pacientes en estado vegetativo respecto a aquellos en estado de mínima consciencia. El descubrimiento más importante de este estudio consistió, no obstante, en que a través de los índices de gravedad del daño, que establecimos mediante las imágenes por tensor de difusión, conseguimos clasificar correctamente al 95 por ciento de los sujetos. Es decir, el diagnóstico desarrollado solo a partir de las imágenes cerebrales coincidió con el realizado por el equipo de expertos, a excepción de dos casos.

Aunque prometedor, ese trabajo no debe interpretarse como prueba de la idoneidad de sustituir la evaluación clínica por la de neuroimagen. En primer lugar, nuestro hallazgo debe ser confirmado en muestras más amplias antes de poder aplicarse a la población general. Pero, aún más importante, el diagnóstico definitivo de estos pacientes ha de ser siempre clínico. Las imágenes por tensor de difusión se adquieren muchas veces de manera rutinaria en los protocolos de resonancia aplicados a personas con daño cerebral grave durante su hospitalización.

Más allá del comportamiento externo

Técnicas de neuroimagen estructurales, como la anterior, pueden ayudarnos a identificar más fácilmente a aquellos pacientes que, aun habiendo recibido un diagnóstico de estado vegetativo, se encuentran en realidad en estado de mínima consciencia (manifiestan comportamientos acordes con dicho diagnóstico cuando son evaluados por equipos expertos con las escalas diagnósticas adecuadas). Gracias a técnicas funcionales que permiten obtener información acerca de la actividad cerebral en respuesta a una determinada tarea cognitiva, de forma independiente de la capacidad de respuesta externa o comportamental del paciente, sabemos que el problema diagnóstico en estos pacientes no acaba aquí.

Desde los años noventa hemos acumulado datos de estudios relacionados con la resonancia magnética funcional que confirman que algunas personas en estado vegetativo retienen habilidades cognitivas que son incapaces de mostrar externamente; entre ellas, la capacidad de reaccionar, a nivel cerebral, ante estimulación visual, táctil o incluso oral (algunos pacientes pueden manifestar respuestas cerebrales que indican que conservan, al menos en parte, la facultad de comprensión del lenguaje). No debemos olvidar que la ausencia total de comprensión o expresión lingüística constituye uno de los criterios diagnósticos del estado vegetativo, con lo cual este hallazgo comienza a poner en duda dicho diagnóstico en aquellos individuos que retienen tal capacidad.



Voluntario sano — Paciente en estado vegetativo

A través de la electroencefalografía se detecta la actividad eléctrica cuando se le pide al participante que se imagine que cierra la mano en un puño o que mueve los dedos de los pies. Alrededor del 20 por ciento de los pacientes en estado vegetativo son capaces de seguir órdenes modulando su actividad cerebral en esta tarea.

Con todo, la verdadera revolución en este campo llegó en 2006, cuando Owen redefinió el modo en el que podemos evaluar el seguimiento de órdenes. Describió el caso de una paciente que, a pesar de cumplir todos los criterios del estado vegetativo a nivel externo, se encontraba consciente, estado que solo era capaz de demostrar mediante la modulación voluntaria de su actividad cerebral. El seguimiento de órdenes sencillas (pedir al sujeto que levante una mano o mire hacia el techo) se acepta entre la comunidad médica como una tarea apropiada para determinar el estado de consciencia. De hecho, se utiliza comúnmente en el servicio de urgencias como cribado en personas que han sufrido un accidente cerebral; también se incluye en las escalas de evaluación diagnóstica de pacientes en estado vegetativo y de mínima consciencia.

Cuando ejecutamos una acción (mover la mano), se produce un patrón específico de activación cerebral, el cual podemos detectar con resonancia magnética funcional. Sin embargo, sabemos que no es necesario ejecutar físicamente dicha acción para obtener el patrón: basta con imaginarla para que se activen las mismas áreas cerebrales. Por definición, los pacientes en estado vegetativo no son capaces de seguir órdenes de manera externa (si lo fueran, su diagnóstico no sería este). Por ello, se pidió a una paciente que se imaginara jugando al tenis (equivalente a pedirle que pensara que movía vigorosamente el brazo) y recorriendo las habitaciones de su casa (tarea que evoca otro patrón de activación cerebral específico). La mujer fue capaz de seguir ambas tareas, así

SER CONSCIENTE CONTRA ESTAR CONSCIENTE

Para entender el diagnóstico diferencial entre el estado vegetativo y otros síndromes relacionados (el coma o el estado de mínima consciencia) debe manejarse la definición de consciencia propuesta por Fred Plum y Jerome B. Posner en 1966. Dichos autores definieron la consciencia como un sistema complejo con dos componentes principales: el nivel de alerta (*arousal* o *wakefulness*), que correspondería con «estar consciente», y el contenido de la consciencia (*awareness*), que podríamos llamar «ser consciente». El primero se refiere a un estado en el que los ojos están abiertos y existe cierto grado de alerta; el segundo corresponde a la capacidad de tener experiencias subjetivas. En este sentido, los pacientes en estado vegetativo *estarían* conscientes pero no *serían* conscientes.

como de detenerse y relajarse cuando se le pedía. Según observamos, los patrones cerebrales que activaba coincidían con los registrados en voluntarios sanos.

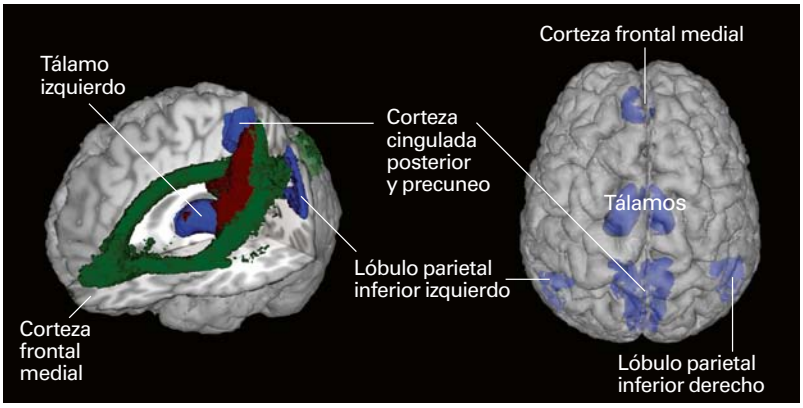
Un grupo multidisciplinar de expertos evaluaron de forma exhaustiva y continuada el comportamiento externo de la misma paciente. Confirmaron el diagnóstico de estado vegetativo. En este sentido, no se encontraría dentro de aquel 40 por ciento de los pacientes con diagnóstico incorrecto. Gracias a la resonancia magnética funcional pudo demostrarse que era capaz de seguir órdenes, aunque no lo pudiera manifestar externa o físicamente; por tanto, era consciente.

Podríamos pensar que se trata de un caso muy excepcional. Pero un trabajo posterior realizado en el mismo grupo de investigación pareció indicar lo contrario. La aplicación de esa técnica a un grupo amplio permitió observar que aproximadamente el 20 por ciento de los individuos con diagnóstico confirmado de estado vegetativo eran capaces de llevar a cabo esa tarea, es decir, eran conscientes a pesar de no poder responder de forma externa. Más aún, uno de estos pacientes consiguió utilizar su activación cerebral con una finalidad comunicativa: empleó una de las dos tareas (tenis o recorrer su casa) para producir la respuesta correcta (sí o no) a una serie de preguntas simples.

Acercar la evaluación al paciente

Los estudios anteriores pusieron de manifiesto la necesidad de manejar técnicas de neuroimagen para revelar las capacidades cognitivas *reales* que mantienen los pacientes en estado vegetativo o de mínima consciencia más allá de aquello que su capacidad física les permite mostrar. Sin embargo, la imagen por resonancia magnética no se halla exenta de restricciones que limitan su accesibilidad. Por un lado, se trata de una técnica costosa y no siempre disponible en los hospitales (incluso en los centros hospitalarios que cuentan con ella, su uso frecuente para el diagnóstico de muy diversas patologías hace que las listas de espera sean largas). Además, el escáner genera un intenso campo magnético, con lo que la presencia de ciertos

¿Cuáles son las causas?



Tanto el estado vegetativo como el estado de mínima consciencia se caracterizan por la preservación de la vigilia o alerta junto con una ausencia, total o parcial, de consciencia de sí o del entorno. El nivel de alerta es una función del sistema nervioso autónomo mediada por el tronco encefálico, hipotálamo y determinados núcleos talámicos, como parte del sistema activador reticular ascendente. En estos pacientes, dichas estructuras se encontrarían intactas o al menos conservadas de manera suficiente para garantizar su funcionamiento. Cuando existe daño en este sistema, el sujeto entraría en una fase de coma.

Las bases cerebrales del contenido de la consciencia, sin embargo, son menos conocidas. Una de las teorías más aceptadas en la actualidad es que esta depende de complejas redes corticales y sus conexiones recíprocas con el tálamo. A pesar de su tamaño relativamente pequeño, el tálamo es una estructura compleja, compuesta por varios núcleos especializados anatómica y funcionalmente, y situada en una localización privilegiada que le permite ser estación de paso de toda la información sensorial (exceptuando la olfativa) y motora, así como mantener extensas conexiones con la corteza cerebral y estructuras subcorticales. Se le atribuye una función esencial en la modulación de redes cerebrales a gran escala asociadas con la consciencia. Una de ellas es la red neuronal por defecto, un conjunto de regiones cerebrales asociativas (corteza frontal medial, lóbulos parietales inferiores, corteza cingulada posterior y precuneo) que funcionan de manera conjunta cuando estamos en reposo y dejamos vagar el pensamiento o soñamos despiertos. En definitiva, cuando nos implicamos en tareas mentales centradas en nosotros mismos. Esta función la ha convertido en una de las candidatas para explicar la falta de consciencia en estos pacientes.

Nuestro grupo ha demostrado en fecha reciente que esa red se encuentra físicamente desconectada en sujetos en estado vegetativo. Es decir, las fibras de sustancia blanca que conectan esas áreas entre sí (*verde*) y aquellas que las conectan con el tálamo (*rojo*) se encuentran gravemente dañadas, lo que sugiere que se encuentran involucradas en el estado vegetativo. Aunque el daño también aparecía en los pacientes en estado de mínima consciencia, este era mucho menor.

La exploración neurofisiológica y mediante neuroimágenes

Para desarrollar nuestro programa de investigación, se ingresa al paciente en la planta de cuidados continuados del hospital durante una semana. En ese tiempo, un equipo multidisciplinar realiza exploraciones exhaustivas y repetidas mediante escalas clínicas diseñadas para el diagnóstico diferencial (escala de recuperación del coma revisada). Tras este proceso, se determina su diagnóstico clínico.

Asimismo, el paciente recibe varias sesiones de resonancia magnética y electroencefalografía, durante las cuales se adquieren diversas imágenes anatómicas, así como datos sobre la activación cerebral mostrada en un conjunto amplio de tareas y paradigmas que evalúan, entre otras, la capacidad de seguimiento de órdenes.

En la prueba de resonancia magnética, el sujeto se tumba en la camilla que se deslizará dentro del tubo, donde permanece hasta el final de la prueba. Entre otras tareas, se le pide que se imagine jugando al tenis o recorriendo las habitaciones de su casa. Se le transmiten las instrucciones a través de auriculares. Mientras ejecuta las órdenes cognitivas que se le han encomendado, una pantalla proyecta las imágenes de su cerebro. La resonancia magnética funcional se basa en la respuesta BOLD (de *blood oxygen-level dependent*) para estudiar la función cerebral. A grandes rasgos, cuando una región cerebral incrementa su funcionamiento (al participar en una tarea) también aumenta su metabolismo, con lo que recibe mayor aporte sanguíneo (respuesta hemodinámica) para suplir las necesidades energéticas. Esto deriva en un desequilibrio en el ratio local de hemoglobina oxigenada y hemoglobina desoxigenada, la cual puede detectarse a través de las secuencias específicas que proporciona la resonancia magnética funcional. De ese modo, podemos identificar las regiones cerebrales implicadas en la tarea.

Para las pruebas de electroencefalografía no se requiere desplazar al paciente: el investigador puede llevarlas a cabo en la propia habitación del afectado. Se coloca un sistema de electrodos sobre el cuero cabelludo del sujeto; se registra la actividad eléctrica de su cerebro mientras desarrolla distintas tareas cognitivas (se imagina que mueve la mano o los dedos de los pies). Se estima que existen unos 85 billones de neuronas en el cerebro, cada una de las cuales se halla conectada con otras 100.000, con las que se comunica mediante impulsos eléctricos. Cuando una región cerebral participa en una tarea cognitiva, las neuronas que la componen comienzan a generar impulsos eléctricos más intensos de manera conjunta. Ello produce una señal eléctrica que podemos detectar con los electrodos colocados en el cuero cabelludo del paciente.

implantes metálicos puede impedir su utilización. Pero, incluso en el caso ideal (e irreal) de que el escáner de resonancia magnética estuviera disponible en todo momento, se requiere el traslado del paciente al hospital o centro, con el consiguiente estrés físico asociado. Si pensamos en la posibilidad de utilizar esta técnica como herramienta de comunicación cotidiana en aquellos sujetos que demuestren tal capacidad, concluiremos rápidamente que no se trata de la opción más adecuada.

Por ello, en nuestro grupo de la Universidad de Ontario Occidental nos hemos planteado adaptar este tipo de tareas funcionales a una técnica más económica, portátil y que puede estar disponible para un mayor número de pacientes: la electroencefalografía. En este estudio, liderado por Damian Cruse, pedimos a 16 pacientes en estado vegetativo, diagnosticados tras un riguroso proceso de evaluación llevado a cabo por un equipo multidisciplinar, que se imaginaran cerrando su mano derecha en un puño o moviendo los dedos de los pies. Tres de ellos fueron capaces de seguir nuestras órdenes; generaban una actividad eléctrica cerebral que pudimos detectar y clasificar con el electroencefalograma. En fecha posterior, aplicamos con éxito la misma técnica a un grupo de sujetos en estado de mínima consciencia.

ESTADO VEGETATIVO EN CIFRAS

Se estima que el 40 por ciento de los pacientes en estado vegetativo han recibido un diagnóstico incorrecto: en realidad, se encuentran en un estado de mínima consciencia o superior. En alrededor de un 20 por ciento del 60 por ciento restante que han recibido un diagnóstico correcto se detectan signos de consciencia mediante avanzadas técnicas de neuroimagen, como la resonancia magnética funcional o la electroencefalografía.

Aunque muchos de ellos mostraban signos de consciencia mediante el seguimiento visual de objetos en movimiento, eran incapaces de seguir órdenes de manera externa. De los 23 participantes evaluados, cinco pudieron seguir órdenes mediante la modulación de su actividad cerebral. Este estudio puso de manifiesto que, del mismo modo que ocurre con los pacientes en estado vegetativo, algunas personas en estado de mínima consciencia pueden mantener habilidades cognitivas superiores a las que son capaces de mostrar con su comportamiento físico externo.

El porcentaje de pacientes que mostraron la capacidad para seguir órdenes en ambos estudios (en torno al 20 por ciento) fue muy similar al descrito en las investigaciones de resonancia magnética funcional anteriores, lo cual demuestra una sensibilidad equiparable por parte de las dos técnicas. Este hallazgo abrió por primera vez la posibilidad de practicar la exploración allá donde se encuentre el afectado (domicilio particular, residencia, hospital, etcétera) con el fin de que reciba un diagnóstico lo más ajustado posible a sus capacidades reales.

Mirada al futuro

No cabe duda de que los avances actuales en materia de formación de imágenes cerebrales ofrecen nuevas maneras de mejorar el diagnóstico en pacientes con daño cerebral grave. Las técnicas de resonancia magnética estructural han demostrado su utilidad a la hora de desvelar los mecanismos neuropatológicos subyacentes al estado vegetativo y estado de mínima consciencia, de manera que contribuyen a su diagnóstico diferencial. Por su lado, las técnicas funcionales, tanto de neuroimagen (resonancia magnética funcional) como neurofisiológicas (electroencefalografía) han permitido identificar un síndrome específico hasta ahora desconocido. Aunque, en sentido estricto, el sujeto cumple todos los criterios diagnósticos del estado vegetativo (ausencia de prueba comportamental de consciencia), en realidad se encuentra consciente y conserva capacidades cognitivas muy superiores a las que corresponden a su diagnóstico. A pesar de que para ser capaz de realizar este tipo de tareas se han de conservar, al menos a nivel básico, capacidades de atención sostenida, comprensión del lenguaje y memoria de trabajo, entre otras, la caracterización completa de las funciones cognitivas residuales en estos pacientes se halla todavía pendiente de estudio.

Hoy por hoy, los neurólogos no disponen de una categoría diagnóstica para estos afectados. Sin embargo, no podemos considerarlos en estado vegetativo o, siquiera, en estado de mínima consciencia. En fecha reciente, varios autores han propuesto el término «síndrome de enclaustramiento funcional», con el objetivo de poner de manifiesto que el problema reside en la falta de capacidad para mostrar las habilidades cognitivas y no en una carencia de estas. Además, dicho término se diferencia del síndrome de enclaustramiento clásico, en el que la falta de respuesta se debe a una completa parálisis motora (los pacientes en estado vegetativo o de mínima consciencia no presentan parálisis, sino una incapacidad para realizar movimientos de manera intencional).

Que esta categoría sea aceptada por la comunidad neurológica aún está por determinar, pero, con toda seguridad, es importante identificar a estos pacientes para poder proporcionarles la atención clínica y humana adecuadas a sus necesidades. Por el momento, ello no es posible con el único empleo de exploraciones clínicas tradicionales que evalúen las capacidades de comportamiento externo del paciente. Se requiere el uso de la neuroimagen. En la actualidad, el desafío estriba en trasladar estas técnicas del campo de la investigación a la práctica clínica. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 58

PARA SABER MÁS

The vegetative state: Guidance on diagnosis and management. Royal College of Physicians en *Clinical Medicine*, vol. 3, n.º 3, págs. 249-254, mayo-junio de 2003.

Detecting awareness in the vegetative state. A. M. Owen et al. en *Science*, vol. 313, n.º 5792, pág. 1402, septiembre de 2006.

Functional neuroimaging of the vegetative state. Owen et al. en *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 9, n.º 3, págs. 235-43, marzo de 2008.

Beside detection of awareness in the vegetative state: a cohort study. D. Cruse et al. en *Lancet*, vol. 378, n.º 9809, págs. 2088-2094, diciembre de 2011.

Coma and consciousness: Paradigms (re)framed by neuroimaging. S. Laureys et al. en *Neuroimage*, vol. 61, n.º 2, págs. 478-491, junio de 2012.

A role for the default mode network in the bases of disorders of consciousness. D. Fernández Espejo et al. en *Annals of Neurology*, vol. 72, n.º 3, págs. 335-343, septiembre de 2012.

VISIÓN CIEGA A través de la investigación sobre videntes ciegos, niños sin cerebro y otros casos de deterioro neurológico, podemos adentrarnos en el misterio de la percepción consciente

En busca de la consciencia perdida

REINHARD WERTH

Aquella tarde de fútbol, el señor Uncitia se montó en su coche y recogió en el camino a un amigo para acudir juntos al partido. Nunca llegaron al estadio. Con el tiempo lograría recordar el accidente. Un automóvil que se abalanzó sobre ellos, arremetiendo por la derecha en un stop. Sufrió en el choque múltiples lesiones cerebrales.

Uncitia se recuperó sorprendentemente bien, aunque ciertas facultades quedaron resentidas para siempre. Debido a las lesiones del área visual del cerebro, perdió una parte del campo visual, el espacio que abarca la vista sin mover los ojos. Ya no podía ver en esa área, a pesar de que sus ojos se encontraban perfectamente sanos. A este fenómeno lo denominan los neurólogos ceguera cortical.

A menudo, las personas que padecen esa lesión determinan de forma correcta la situación de objetos situados en el área del campo visual ciego, por más que no puedan percibirlos de manera consciente. Esta «visión ciega» fue descrita por Ernst Pöppel, Richard Held y Douglas Frost, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, a mediados de los setenta del siglo XX. La «visión ciega» cobró interés para mí cuando empecé a ocuparme de la cuestión sobre la investigación científica del pensamiento consciente.

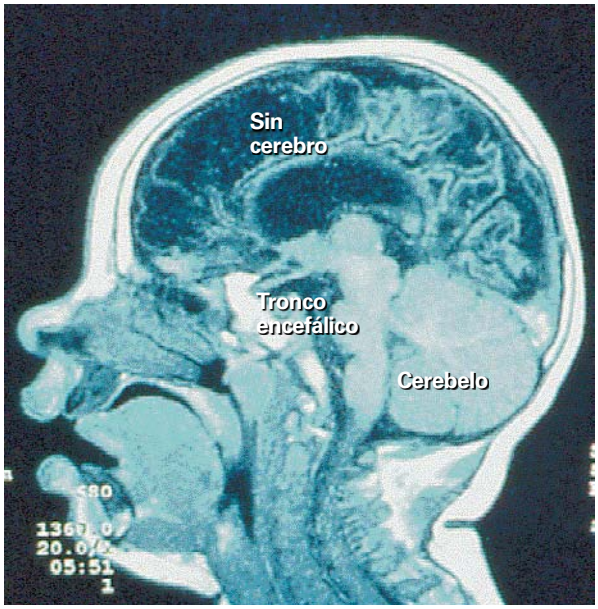
Uncitia constituyó uno de mis primeros pacientes en que pude estudiar la «visión inconsciente». Cuando le mostraba puntos luminosos en su campo visual ciego, manifestaba, según cabía esperar, que no veía nada. En realidad tenía un área con funciones visuales rudimentarias, como se demostró por medio de un experimento. Hice sonar hasta 290 veces una señal acústica. Simultáneo con el sonido, centelleaba un punto luminoso, aunque Uncitia solo oía el tono, tenía que adivinar si el destello luminoso acompañaba o no al sonido. Además debía declarar, cada vez y por medio de una escala, cuán seguro estaba de la respuesta dada.

En un comienzo, al paciente le parecía una tarea absurda. «No veo absolutamente nada. No puedo hacer otra cosa que intentar adivinar», protestaba. Pero al final accedió a colaborar. En cada tanda de ensayos, repetía siempre lo mismo: estaba adivinando si el punto luminoso se encontraba o no allí. Mas, para su sorpresa, había apretado el botón correcto en el 99 por ciento de las veces. ¿Es posible que mediante los puntos luminosos se originaran sensaciones que incluso un cerebro normal no pudiese interpretar y para las que a Uncitia le faltaran las palabras exactas para describirlas? No podía afirmar si se trataba de una sensación o de una corazonada; en cualquier caso, no podía tratarse de una visión consciente.

¿Cuáles son las bases neurológicas de semejante visión ciega? La mayoría de los investigadores creen que, tras producirse las lesiones de la corteza cerebral, otras estructuras filogenéticamente más antiguas pertenecientes

Durante siglos, los filósofos han venido especulando sobre la esencia de la consciencia. A menudo declararon que se escapaba de las posibilidades de la investigación científica. No lo entiende así la neurología moderna.

JOHN WILKES STUDIO



CORTESIA DE REINHARD WERTH

En esta resonancia magnética de la cabeza de un niño de dos años nacido sin cerebro se observa que un líquido y estructuras similares al tejido conectivo ocupan su lugar.

al tronco cerebral (el colículo superior y el pretecto, situados en la parte superior del mesencéfalo) pasan a desempeñar las funciones visuales inconscientes. Estas estructuras, que en los vertebrados inferiores cumplen un papel importante en la percepción visual, en los seres humanos son zonas cerebrales secundarias en relación con la visión.

Cuando los pacientes adivinan los estímulos luminosos

Cabe la posibilidad de que la corteza cerebral dañada de la zona encefálica que, en condiciones normales, hace surgir las impresiones visuales, no haya perdido totalmente su funcionalidad. Su capacidad restante podría bastar, si esto es así, para registrar y localizar puntos lumínicos, a pesar de que ya no sea capaz de transmitir impresiones visuales conscientes. Abundan los resultados de investigación a favor de esta segunda explicación, al menos en aquellos afectados en los que las estructuras lesionadas del sistema visual no se encuentran completamente destruidas.

Así aconteció con Basaniega, a quien un accidente cerebrovascular le dejó cegado la mitad de su campo visual. Junto a esa zona ciega —en la que, igual que en Uncitia, podía localizar puntos luminosos por adivinación— había otra área sobre la que el paciente informaba tener la sensación difusa de que «ahí había algo», sin que pudiera ver realmente ese algo.

Esa vaga sensación se producía en cuanto aparecía un punto luminoso en el área en cuestión. No había ni señal sonora ni cualquier otro suceso que le diera a Basaniega alguna pista sobre el punto luminoso. Asimismo, la sensación de que allí había algo desaparecía tan pronto como el punto luminoso —que no era perceptible conscientemente para el sujeto— se apagaba.

Entre esa área y el resto del campo visual que conservaba una visión normal se encontraba otro ámbito, donde el paciente percibía un tenue resplandor cuando aparecía allí un punto luminoso. Tras varios cientos de mediciones, y eso merece reseñarse, los límites de tales áreas empezaron a cambiar de sitio. En una parte del campo que antes era ciego y en el que podía adivinar los estímulos correctamente, Basaniega tenía ahora la sensación de la presencia de un estímulo. Allí donde antes solo había vagas sensaciones, nuestro paciente empezó a ver resplandores luminosos y donde con anterioridad únicamente notaba resplandores empezó a percibir los puntos luminosos de forma normal. Resultaba evidente que las mediciones del campo visual habían producido un efecto de entrenamiento; mediante el mismo, los grupos de neuronas dañadas habían vuelto a recuperar algunas de sus capacidades perdidas.

Durante la Primera Guerra Mundial, Walter Poppelreuter había observado que los soldados heridos en el frente no siempre mostraban muertas del todo las neuronas de la zona cerebral interesada. Tras un entrenamiento sistemático, podían recuperar, al menos parcialmente, las capacidades visuales. La posibilidad de una reconstrucción de las áreas cegadas mediante un entrenamiento sistemático se corroboraría por Josef Zihl, del Instituto Max Planck de Psiquiatría de Múnich.

Pero los casos de daños cerebrales con resultado de ceguera no se encuentran solo en adultos. Con el transcurso de los años he investigado una considerable cantidad de niños con lesiones cerebrales de distintos tipos, por anoxias, malformaciones, accidentes cerebrovascu-

En síntesis:
Percepción consciente con cerebro

1 Las personas con ceguera cortical presentan «visión ciega», es decir, ven estímulos de manera incosnciente. Este fenómeno podría contribuir al estudio de la percepción consciente.

2 El entrenamiento permite recuperar alguna de las capacidades visuales alteradas en los pacientes con visión ciega; también en personas epilépticas a las que se ha extirpado un hemisferio cerebral.

3 Al parecer, tras la pérdida de una porción del cerebro, el tronco cerebral asume, al menos en parte, la elaboración de los estímulos viuales simples y la trasnmisión de la reacción a dichos estímulos.

lares, inflamaciones cerebrales o accidentes de baño o de tráfico, que comportaban una ceguera total o parcial. Si con los adultos se conseguía una recuperación de las funciones visuales en cierta proporción, tanto más debería, supuse, lograrse con los niños, pues su cerebro es mucho más moldeable que el de los adultos.

Las manchas ciegas desaparecen con entrenamiento

Pero cuando me dispuse a ratificar la hipótesis encontré dificultades inesperadas. Con los procedimientos metodológicos empleados hasta entonces no se había conseguido medir de forma fiable el campo visual de los niños en edad preescolar, por no hablar de los bebés; no podían entender a qué debían prestar atención durante el ensayo ni sabían qué reacciones eran las que se esperaban de ellos. No me quedó otro remedio que diseñar un aparato específico que permitiera detectar los campos cegados y las facultades visuales reducidas, incluso en lactantes. Así conseguí comprobar que los niños reaccionaban de forma refleja a los puntos luminosos en distintos lugares del campo visual.

Resulta harto difícil creer que la chica sin cerebro fuera capaz de seguir con los ojos un rostro o un dibujo de rayas en movimiento

De igual modo, con ese proceder podía averiguarse si un área ciega se empequeñecía cada vez más tras el entrenamiento del campo visual. El entrenamiento que puse en práctica era elemental: mostraba puntos luminosos brillantes en el área ciega y a los pocos segundos los movía desde la periferia hacia el centro del campo visual. Introducía una pausa breve. E iteraba de nuevo el procedimiento entero. Se consideraba éxito terapéutico cuando el niño empezaba a reaccionar ante el punto luminoso mirando en esa dirección.

Basilio se llamaba uno de los niños al que apliqué el tratamiento. En el parto sufrió una carencia de oxígeno que le dejó dañado gravemente el sistema visual del cerebro, con resultado de ceguera. Llegó a mí cuando había cumplido un año de edad. Realizamos el entrenamiento del campo visual diariamente durante una media hora, pero solo en la mitad izquierda de dicho campo visual. Al principio no conseguí ninguna reacción, pero al cabo de tres semanas el pequeño comenzó a mirar los puntos luminosos en cuanto aparecían en su seno. Al final, logró descubrir la señal de forma cierta: la mitad izquierda del campo visual había desarrollado funciones visuales.

A continuación estimulé de la misma manera durante tres semanas el campo visual derecho, que también estaba ciego. Se instauró una lenta mejoría. Pero, mientras tanto, el campo visual izquierdo, que había abandonado el entrenamiento, se volvió a cegar. Hubo que volver a estimularlo durante dos semanas para que adquiriese capacidad visual, persistente esta vez.

Son muchos los niños ciegos por lesiones cerebrales que terminan por recuperar la visión gracias a un entrenamiento de esa índole, aunque en una medida que difiere mucho de unos a otros. El espectro de facultades recuperadas va desde la percepción de puntos luminosos aislados hasta el resarcimiento de la capacidad normal de visión. ¿A qué se deben tales diferencias?

Intentamos dar respuesta con la ayuda de la resonancia magnética funcional, que permite identificar las áreas cerebrales activas. En condiciones normales, las neuronas de un hemisferio empiezan a activarse intensamente en cuanto aparecen los estímulos visuales en el campo visual contrario. Dicha activación se encuentra ausente en los pacientes corticalmente ciegos.

Pero ocurre lo siguiente. Cuando, tras el entrenamiento descrito, se vuelven a notar capacidades visuales en un campo visual que estaba previamente ciego, en el hemisferio cerebral contrario se produce una activación tan pronto como se muestra el punto luminoso. La intensidad del estímulo que aparece en las regiones encargadas de la visión es más débil que la que opera en los voluntarios normales. Con otras palabras: a pesar del entrenamiento visual efectuado, en estos pacientes no se encuentran activas la misma cantidad de células nerviosas que las que se ponen en funcionamiento en un sujeto sano bajo las mismas circunstancias. Además, no en todos los niños el entrenamiento consigue alcanzar un nivel suficiente que posibilite la capacidad de visión.

En el caso de la visión ciega, los grupos celulares supervivientes apenas si alcanzan siquiera a elaborar los estímulos visuales de suerte que el paciente pueda adivinarlos de manera correcta. Estos grupos celulares dañados son incapaces de producir una impresión visual consciente, ya que su actividad aislada no basta. La excitación de estos grupos neuronales dañados se coordina, pienso, en el lóbulo occipital para producir las impresiones mencionadas.

El fenómeno de la recuperación de funciones visuales perdidas volvemos a hallarlo en pacientes epilépticos sometidos a la extirpación quirúrgica de un hemisferio cerebral. Intervención tan drástica se efectúa cuando un hemisferio

EL AUTOR

Reinhard Werth es neuropsicólogo y docente de psicología médica en la Universidad Ludwig Maximilian de Múnich.

Principio y fin de la consciencia humana

¿Cómo surge la consciencia humana y qué pasa con ella tras la muerte? Tradicionalmente, las respuestas procedían del campo religioso y simbólico. Se agregaron filósofos y psicólogos, que especularon sobre su naturaleza sin abordar sus manifestaciones y excluyendo su dominio del ámbito de la ciencia empírica. Los propios partidarios de una filosofía de la ciencia de orientación científico-natural y los psicólogos conductistas dejaban a la consciencia, en cuanto signo del mundo de lo subjetivo, a extramuros de la ciencia.

Acontece, sin embargo, que los neurocientíficos, los psicólogos y los psiquiatras hablan continuamente de la consciencia, del ver, del oír, de las emociones..., todo lo cual cae dentro del área de sus investigaciones. Y en dichas investigaciones utilizan conceptos que remiten al dominio de lo subjetivo, aunque ineludible en la práctica médica. El psiquiatra no podría comunicarse con sus pacientes si se excluyera de su relación el ámbito de lo subjetivo.

El problema radica en que el lenguaje ordinario carece de conceptos adecuados para una descripción exacta de los sucesos conscientes. Ante esa deficiencia, hace ya veinticinco años, desarrollé, en mi trabajo de habilitación universitaria y con la ayuda de la lógica formal, un procedimiento que permitía diferenciar entre consciente e inconsciente.

Los resultados descritos en ese trabajo permiten llegar a conocer en qué manera la visión y la audición conscientes están unidas a las funciones de determinadas áreas de nuestro cerebro. Sabido es que el cerebro es un órgano muy plástico. Si falta una parte, las facultades gestionadas por ella (sean estas la visión, la audición, el lenguaje, el aprendizaje o el actuar) no tienen por qué perderse para siempre. Algunas veces hay grupos celulares de otras regiones cerebrales que asumen las facultades de las partes cerebrales afectadas.

Cuando también estas partes cerebrales de sustitución se pierden, la función afectada desaparece sin remisión. Lo que vale para la visión o la audición puede aplicarse a otras facultades. Ha de haber siempre grupos nerviosos que gestionen esas capacidades. Sin tales grupos celulares, se produce también la extinción de las facultades de percibir, de sentir, de pensar o de recordar.

Si se considera la consciencia como la totalidad de aquello que nos es perceptible, entonces se extingue con la muerte cerebral. Si se extinguen todas las funciones cerebrales, la posibilidad de recoger experiencias —cualesquiera que estas sean— queda perdida de una vez para siempre.

---

cerebral lesionado produce convulsiones epilépticas que se extienden por el cerebro entero y no sirve la medicación.

Prueba de madurez con medio cerebro

Una vez realizada la operación, los pacientes no suelen quedar con una consciencia limitada, ni pierden la mitad de «vida psíquica». Un ejemplo de lo que, no obstante la espectacularidad de la cirugía, puede alcanzarse mediante un entrenamiento comprometido nos los presenta el paciente P. D. Debido a los ataques epilépticos intratables que padecía, hubo que extirparle el cerebro derecho hasta el tronco. Contaba a la sazón 13 años de edad. Las consecuencias abarcaron desde parálisis en la mitad corporal opuesta hasta la total ceguera del lado izquierdo de su campo visual, pues le fueron extirpadas también las estructuras cerebrales en las que se elaboraban las informaciones visuales del lado izquierdo.

Hoy lo encontramos en la universidad. Antes tuvo que recorrer un duro camino de esforzado entrenamiento. Yo seguí la evolución de sus capacidades visuales a lo largo de ocho años mediante procedimientos de entrenamiento guiados para aumentar su campo visual.

Al año de la intervención, P. D. me manifestó, en el curso de una exploración, que veía luz en la mitad del campo visual que había quedado ciega. Si nos ateníamos a los conocimientos de la anatomía, resultaba impensable una percepción tal. Como no estaba muy convencido de lo que me contaba el chico, investigué esa mitad del campo visual. Y llegué a la conclusión de que él podía registrar efectivamente puntos luminosos y rápidos movimientos de estímulos lumínicos. Un procedimiento radiológico especial puso de manifiesto que las señales de este tipo eran elaboradas no solo en el campo visual derecho, sino también en el izquierdo por el hemisferio cerebral izquierdo restante.

Más sorprendente resulta la historia de una chica cuyo hemisferio cerebral izquierdo se extirpó por completo a sus cuatro meses de edad. Cuando llamó a mi consulta había cumplido seis años. Ante mi desconcierto, la niña podía ver, con idéntico rendimiento, en la mitad derecha y en la izquierda de su campo visual. Un examen posterior, realizado seis años más tarde, llegó al mismo resultado: la conformación del campo visual era totalmente normal.

Pero ¿cómo se puede ver en un área cuando no existe ya el hemisferio cerebral encargado de esa visión? ¿Acontece que un hemisferio cerebral elabora las informaciones visuales procedentes de ambos campos visuales? ¿Se encarga acaso de las capacidades de visión el tronco cerebral integrado en el sistema visual?

La respuesta adecuada solo puede investigarse en pacientes privados de ambos hemisferios cerebrales,

aunque con un tronco cerebral operativo. He estudiado varios de estos niños que nacieron sin cerebro o a los que les quedaban escasos restos cerebrales, totalmente ajenos al sistema visual.

Recordaré una niña de tres años privada de cerebro, salvo unos pocos restos en la parte inferior del prosencéfalo. El vacío lo ocupaba líquido cerebroespinal. Lo habitual es que estos niños hasta ese extremo discapacitados mueran pronto después del parto. Sin embargo, en determinadas circunstancias sobreviven varios años, en particular si el tronco cerebral se encuentra intacto, como era el caso mencionado. Los afectados con tales malformaciones no pueden entender el lenguaje, ni aprender nada, ni andar, ni permanecer sentados por sí mismos. Solo pueden masticar, tragar, bostezar y chillar.

Tras la pérdida del cerebro, el tronco cerebral asume al menos en parte la elaboración de los estímulos visuales simples y la transmisión de la reacción ante dichos estímulos

Pese a la opinión extendida entre los expertos que negaba capacidad visual a los niños sin cerebro, algunas veces daba la impresión de que mi paciente estuviera observando a las personas de su alrededor. Una exploración minuciosa de sus capacidades visuales mostró lo que apenas podía llegar a creerse: la niña seguía efectivamente con los ojos un rostro o un dibujo de rayas en movimiento. No registraba en absoluto los puntos luminosos o los objetos de cualquier clase que, aparte de una pequeña área central, aparecían en su campo visual.

Volvió a repetirse el fenómeno en otros niños sin cerebro. Presumiblemente era el tronco cerebral el que, tras la pérdida del cerebro, asumía, al menos en parte, la elaboración de los estímulos visuales simples y la transmisión de la reacción ante dichos estímulos. Pero tal capacidad existía solo en un área pequeña situada en el centro del campo visual. Aparte de esto, la visión sin cerebro no era posible.

Las funciones visuales inconscientes de adultos con cerebros lesionados no pueden atribuirse a la asunción del tronco cerebral de las funciones visuales, pues se extienden más allá del centro del campo visual. De forma similar, tampoco se puede explicar el campo visual sorprendentemente normal de la chica a la que le faltaba el hemisferio cerebral izquierdo mediante las capacidades del tronco cerebral. En estos casos, la razón parece estribar en la función asumida por el hemisferio restante, que se encargaría de todo el trabajo.

Los resultados de los niños sin cerebro vienen a reflejar la evolución de las percepciones visuales durante el primer año de vida: el ser humano no nace ciego, como sucede con algunos animales; pero al principio su visión se limita a un área del centro de su campo visual. De forma paulatina va ensanchando la ventana. Cuando ha cumplido el año de vida, la ventana no abarca todavía la amplitud propia del estado adulto. El cerebro va madurando de forma pareja a este desarrollo del campo visual. Pero si, por la razón que fuere, no lo hace, junto a toda una batería de graves defectos añadidos, el campo visual permanece limitado.

El tronco cerebral proporciona a los pacientes sin cerebro otras capacidades: un niño de siete años, privado de cerebro, reaccionaba a los sonidos. El espacio en el que en condiciones normales hubiera alojado al cerebro se hallaba ocupado por líquido cefalorraquídeo; el tronco cerebral se encontraba bien desarrollado. Siempre que yo hacía algún ruido, a su derecha o izquierda, el niño giraba la cabeza hacia la fuente del sonido. El tronco cerebral registraba, por tanto, los estímulos auditivos, los localizaba y emitía reacciones de respuesta. Ocasionalmente, el niño reaccionaba también al contacto físico, que en todo caso percibía siempre, con una sonrisa.

Así, pues, una estructura tan primitiva como el tronco cerebral puede acometer muchas tareas. La explicación de estas actividades reside en la filogenia: hace más de 300 millones de años, cuando el cerebro de nuestros precursores no había alcanzado su completo desarrollo, el tronco cerebral desempeñaba las funciones que aseguraban la supervivencia y la reproducción. Con el transcurso del tiempo, el tronco cerebral se transformó y con dicha transformación algunas funciones se mantuvieron y otras muchas se perdieron. Algunas de estas últimas podrían recuperarse.

La pregunta de si las capacidades visuales y auditivas procuradas por el tronco cerebral en las personas sin cerebro son conscientes o inconscientes es imposible de ser respondida definitivamente. Los pacientes tienen una afectación tan severa que no se puede encontrar en ellos algún signo que denote consciencia y, por otro lado, tampoco se encuentran en situación de poder comunicarse con nadie. ★

Artículo publicado en *Mente y Cerebro* n.º 35

PARA SABER MÁS

Restitution of visual functions in cerebrally blind children. R. Werth y K. Seelos en *Neuropsychologia*, vol. 43, págs. 2011-2023, 2005.

Visual functions without the occipital lobe or after cerebral hemispherectomy in infancy. R. Werth en *European Journal of Neuroscience*, vol. 24, pags. 2932-2944, 2006.

Residual visual functions after loss of both cerebral hemispheres in infancy. R. Werth en *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, vol. 48, págs. 3098-3106, 2007.

Monografías con nuestros mejores artículos sobre temas clave

CUADERNOS 12: EL DOLOR
Combatir el dolor crónico • Causas de la migraña • La psique como calmante • ¿Funciona la acupuntura?

CUADERNOS 11: LENGUAJE Y COMUNICACIÓN
La influencia del lenguaje en el pensamiento • Modelos neurales del habla y el entendimiento • Claves de la gestualidad social • Niños con mutismo selectivo

CUADERNOS 10: ADICCIONES
Alteraciones en el sistema de recompensa • Raíces evolutivas del alcoholismo • Enganchados a la inanición • Huellas cerebrales de la nicotina • Tratamientos

CUADERNOS 9: LA MEMORIA
Circuitos neuronales de los recuerdos • Estudios con ratones transgénicos • El síndorme de Korsakoff y la hipertimesia • Técnicas para mejorar el aprendizaje

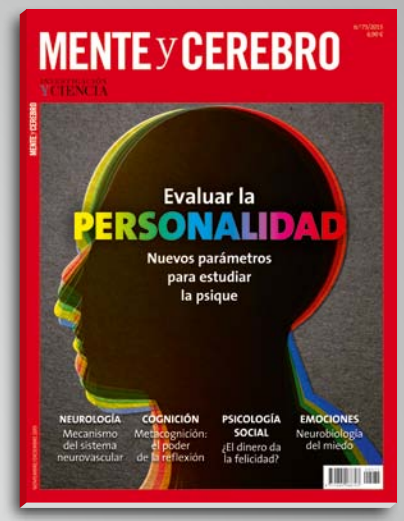
CUADERNOS 8: NEUROGLÍA
Astrocitos: coordinadores de la actividad neuronal • Microglía: los macrófagos del cerebro • Clave para tratar las lesiones del sistema nervioso central • Excitotoxicidad y esclerosis múltiple

CUADERNOS 7: EL SUEÑO
El motivo de las ensoñaciones • Fases y ondas cerebrales del descanso • Insomnio: hiperactivación nocturna • ¿Por qué se contagian los bostezos?

www.investigacionyciencia.es/revistas/cuadernos

Sigue el desarrollo de la psicología y las neurociencias

MENTE Y CEREBRO n.º 76
Estimulación cerebral • Reclutamiento yihadista • Neurogénesis y memoria • Desarrollo del lenguaje en los bebés • Regulación de los sentimientos • Excitación sexual persistente



MENTE Y CEREBRO n.º 75
Evaluar la personalidad • Mecanismo del sistema neurovascular • Metacognición: el poder de la reflexión • ¿El dinero da la felicidad? • Neurobiología del miedo • ¿Sensibilidad alimentaria o moda?

MENTE Y CEREBRO n.º 74
El poder de las marcas • Terapia cognitivo-conductual para la depresión • Alimentos para las neuronas • Autocontrol, el secreto del éxito • En el cerebro del programador • El claustro, director de la consciencia

MENTE Y CEREBRO n.º 73
La neurociencia del futuro • Las dos caras del aburrimiento • ¿Cómo surgió el test de inteligencia? • Aprendizaje a través del tacto • El síndrome del acento extranjero • Trastorno postraumático por aborto

MENTE Y CEREBRO n.º 72
Musicoterapia • Los beneficios del voluntariado • Adictos al deporte • Cámaras que funcionan como el ojo humano • Asesinos múltiples en un solo acto • Estamos embarazados

MENTE Y CEREBRO n.º 71
El cerebro bilingüe • Cómo actuar ante la esquizofrenia • Vencer la fobia social infantil • El atractivo de las subastas en línea • Estrategias para negociar el sueldo

www.investigacionyciencia.es/revistas/mente-y-cerebro

Para más información y efectuar tu pedido: Tlf. 934 143 344 | administracion@investigacionyciencia.es

Descubre el nuevo

Mente&Cerebro

¡Nuevo diseño!

Una nueva forma
de seguir de cerca
el avance de la psicología
y las neurociencias